1	27/06/07	REVISIÓN GENERAL Y MODIFICACIÓN	A. RINCÓN	M. HERRERA / E. GARCÍA	J. L. BARRIOS	E. TORRES
0	16/11/01	REVISIÓN GENERAL QUE SIMPLIFICÓ METODOLOGÍAS Y FUSIONÓ LOS DOCUMENTOS DIC-123-P01 Y DIC-123-Q01/A/B/C/D/E/F Y SE CONSOLIDARON EN ESTA GUÍA	M. BESTILLEIRO	F. GUTIÉRREZ	E. PINZÓN	E. GARCÍA
REV.	**FECHA**	**DESCRIPCIÓN**	**PREPARADO**	**REVISADO**	**APROBADO**	**GSC**

ACEPTACIÓN COMO DOCUMENTO DE LA EMPRESA	**VICEPRESIDENTE DE INGENIERÍA** ROBERTO ESPIGA	**FIRMA:** FECHA: / /

ÍNDICE

DESCRIPCIÓN **PÁGINA**

1. OBJETIVO Y ALCANCE 2
2. DOCUMENTO DE REFERENCIA 2
3. DOCUMENTOS ASOCIADOS 4
4. DEFINICIONES 5
5. ABREVIATURAS 7
6. FASES DEL ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN TUBERÍAS 7
   - 6.1 Obtención de la información del Sistema General 7
   - 6.2 Análisis preliminar 7
   - 6.3 Segregación y selección de líneas a analizar 7
   - 6.4 Selección del método de análisis a usar 8
   - 6.5 Preparación del Análisis 9
   - 6.6 Análisis Formal del Sistema de Tuberías 11
   - 6.7 Elaboración del Informe 16
7. RESPONSABILIDADES Y ACTIVIDADES 16
8. REGISTROS 18
9. ANEXOS 19

El control de los documentos está garantizado mediante su consulta en la red o en la emisión de copias debidamente selladas.

1. OBJETIVO Y ALCANCE

Esta Guía tiene como finalidad establecer lineamientos generales para la realización de los Análisis Estáticos de Esfuerzos en Tuberías, en una forma eficaz y eficiente, normalizando su presentación y los canales de trabajo. El Análisis Dinámico será abordado con detalle en otra guía; sin embargo, en la sección de Definiciones se describe brevemente.

Este documento es aplicable a todos los Proyectos de VEPICA donde se requiera el Análisis de Esfuerzos en Sistemas de Tuberías. En caso de que el Cliente establezca que deban usarse sus guías particulares, éstas prevalecerán; sin embargo, el presente documento puede considerarse como una referencia válida.

Se procura obtener lo mencionado mediante la consecución de los siguientes objetivos específicos:

1 Estandarizar la metodología para la realización de los Análisis de Esfuerzos, de manera que en caso de existir desvíos en los procedimientos establecidos, éstos sólo sean por requerimientos especiales del proyecto y del Cliente.

2 Establecer una metodología estándar de validación de los Análisis de Esfuerzos en Tuberías que permita que sean debidamente revisados los datos de entrada, resultados y la aplicación correcta de los códigos y normas.

3 Implantar un esquema de flujo para una transferencia eficiente de información hacia y desde las demás disciplinas (Civil, Equipos, Procesos, Diseños de tuberías).

4 Servir de guía a los diseñadores de tuberías para que tomen en cuenta los criterios básicos del Análisis de Esfuerzos y Soportería en el diseño de la planta.

2. DOCUMENTO DE REFERENCIA

DIC-121-G07 Criterios de selección y diseño de Soportes de Tuberías

Códigos y Estándares

En su última edición, incluyendo toda la Addenda aplicable:

ANSI - American National Standard Institute

ANSI 16.5 Steel Pipe Flanges and Fittings.

ANSI B.73.1 Horizontal end Suction Centrifugal Pumps for Chemichal Process

A58.1 Building Code Requirements for Minimum Design Loads in Buildings and Other Structures

B31 (1) ASME CODES FOR PRESSURE PIPING

B31.1 Power Piping

B31.3 Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping

B31.4 Liquid Transportation Systems for Hydrocarbons, Liquid Petroleum Gas, Anhydrous Ammonia and Alcohols

B31.8 Gas Transmission and Distribution Piping Systems

ASME - American Society of Mechanical Engineers

Boiler and Pressure Vessels Code (BPVC)

Section VIII - Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels

Section VIII - Division 2: Rules for Construction of Pressure Vessels-Alternative

AISC - American Institute of Steel Construction

PIP-PNC00004 Piping Flexibility Analysis Criteria for ASME B31.3 Metallic Piping

WRC - 107 (Welding Research Council - Bulletin 107)

Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings.

WRC-297 Supplemental To WRC-107

TEMA - Tubular Exchanger Manufactures Association

API - American Petroleum Institute

API - 560 Fired Heater for General Refinery Service

API - 610(2) Centrifugal Pumps for General Refinery Service

API - 611 General Purpose Steam Turbines for Refinery Service

API - 612 Special Purpose Steam Turbines for Refinery Service

API - 617/(3) Centrifugal Compressors for General Refinery Service

API - 618 Reciprocating Compressors for General Refinery Service

API - 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage

API - 661 Air Cooled Heat Exchangers for General Refinery Service

API - 676 Positive Displacement Pump Rotary

NEMA - National Electrical Equipment Association

SM - 23 Steam Turbines for Mechanical Drive Service

EJMA - Expansion Joint Manufactures Association Standards

COVENIN - Comisión Venezolana de Normas Industriales

COVENIN (4)

Acciones del Viento sobre las Construcciones 2003 - 80

COVENIN (4)

Edificaciones Antisísmicas 1756 - 87

NOTAS:

(1) Adoptados por el ASME - American Society of Mechanical Engineers

(2) Adoptado por el ANSI

(3) Duplicado del Análisis NEMA SM - 23 = 1,85 NEMA

(4) Adoptado por MINDUR - Ministerio de Desarrollo Urbano

Referencia bibliográfica

1. **KELLOGG, M. W. COMPANY,** "Design of piping systems". New York : Wiley, Segunda Edición, 1956
2. **GRINNELL Company,** "Grinnell Pipe Hangers". PH-92R, 1992.
3. **VAN LAAN T & SMITH P.** "Piping and Pipe Support Systems". McGraw-Hill, USA, 1986
4. **Kannappan, Sam,** "Introduction to Pipe Stress Analysis". Krieger Publishing Company Malabar, Florida, 1992
5. **ESCOE, A. Keith**, " Mechanical Design of process Systems" V.1, Gulf Publishing Company, U.S.A., 1986
6. **PROCESS INDUSTRY PRACTICES PIPING (PIP PNC00004),** "Piping Flexibility Analysis Criteria for ASME B31.3 Metallic Piping". USA, 02/09/00
7. **A.R.C, Markl,** "Piping – Flexibility Analysis", ASME Paper 53-A-51

3. DOCUMENTOS ASOCIADOS

a) Formularios de Trabajo

DIC-122-V01-A	Lista de Segregación de Líneas para Análisis de Esfuerzos
DIC-122-V01-B	Índice de Cálculos
DIC-122-V01-C	Control de Soportes Civiles con Fundaciones
DIC-122-V01-D	Control de Soportes Civiles en Estructuras
DIC-122-V01-E	Control de Soportes Civiles sobre Plataformas
DIC-122-V01-F	Soportes Especiales de Tuberías
DIC-122-V01-G	Ubicación de Cargas sobre Soportes en Recipiente Vertical
DIC-122-V01-H	Ubicación de Cargas sobre Soportes en Recipiente Horizontal (Tipo 1)
DIC-122-V01-I	Ubicación de Cargas sobre Soportes en Recipiente Horizontal (Tipo 2)
DIC-122-V01-J	Equipo Rotativo con Boquillas Verticales
DIC-122-V01-K	Equipo Rotativo con Succión Horizontal y Descarga Vertical
DIC-122-V01-L	Equipo Rotativo con Boquillas Horizontales
DIC-122-V01-M	Recipiente a Presión y otros Equipos (Tipo 1)
DIC-122-V01-N	Recipiente a Presión y otros Equipos (Tipo 2)
DIC-122-V01-O	Hoja de Datos de Soportes Tipo Resorte Constante de Base
DIC-122-V01-P	Hoja de Datos de Soportes Tipo Resorte Constante Colgante
DIC-122-V01-Q	Hoja de Datos de Soportes Variables Tipo Resorte de Base
DIC-122-V01-R	Hoja de Datos de Soportes Variables Tipo Resorte Colgante
DIC-122-V01-S	Hoja de Datos de Soportes Variables Tipo Resorte Colgante Doble (Tipo 1)
DIC-122-V01-T	Hoja de Datos de Soportes Variables Tipo Resorte Colgante Doble (Tipo 2)
DIC-122-V01-U	Hoja de Datos de Juntas de Expansión

b) Listas de Verificación

DIC-100-F04-CE	Lista de Verificación del Análisis de Esfuerzos en Tuberías
DIC-100-F04-CF	Lista de Verificación de Lista de Segregación de Líneas Críticas

4. DEFINICIONES

Sistema de Tubería

Ensamble de tubos, conexiones y componentes de tubería usados para transportar, distribuir, mezclar, separar, descargar, medir, controlar o amortiguar el flujo de fluidos. También incluye los elementos que soportan la propia tubería, sin incluir las estructuras soportantes.

Análisis de Esfuerzos

Conjunto de actividades, cálculos y estudios, encaminados a determinar el nivel de esfuerzos a que estará sujeto un sistema de tubería durante sus pruebas, arranque y operación, y con la presencia de eventos externos, como viento, sismo, asentamientos de terreno, etc.

Involucra también el cálculo de la magnitud de las fuerzas y momentos que el sistema de Tuberías ejercerá sobre los equipos o estructuras a las que se conecta, y los desplazamientos que tendrá el sistema de tubería, incluyendo los generados por expansiones o contracciones térmicas y por los equipos conectados.

Análisis Estático

Se puede definir como el estudio de las cargas causadas por fuerzas mecánicas que no varíen rápidamente en función del tiempo y que estén presentes durante la operación normal del sistema de tuberías.

Análisis Dinámico

es el estudio de las cargas que varían en el tiempo. Estas cargas dinámicas pueden ser causadas por el movimiento del suelo, por interacciones entre la tubería y el fluido, o entre la tubería y los equipos, e inclusive por el viento. Ejemplos de cargas dinámicas son: sismos, golpe de ariete, descargas de válvulas de alivio, vibraciones de compresores, bombas, motores, etc. Para los cálculos manuales, generalmente se estima una carga estática equivalente a la carga dinámica. Esto hace los cálculos más sencillos, aunque, por lo general, conservadores en el diseño. El desarrollo de este tipo de análisis no está considerado en el alcance de este documento.

Flexibilidad

Capacidad de un sistema de tuberías para absorber las dilataciones térmicas que experimenta sin generar esfuerzos excesivos en las tuberías, ni reacciones extremas sobre los equipos conectados.

Estudios de Soportería y Restricciones

Conjunto de actividades, cálculos y estudios, encaminados a determinar la selección, localización, especificación e identificación de los elementos de apoyo (soportes de tubería) y de control de los movimientos (restricciones), requeridos por los sistemas de tubería.

Incluye también, la evaluación de las reacciones transmitidas por la tubería a las estructuras de soporte, principales y auxiliares.

Anaflex

término de uso común (en castellano) utilizado para referirse al Análisis de Esfuerzos en Tuberías.

5. ABREVIATURAS

P&ID

Piping and Instrument Diagram (**DTI:** Diagrama de Tuberías e Instrumentación)

6. FASES DEL ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN TUBERÍAS

Para la realización de un Análisis de Esfuerzos se requiere cumplir con las siguientes fases, la cuales se presentan en un diagrama de flujo en el ANEXO I.

6.1 Obtención de la información del Sistema General

En la Etapa Inicial del proyecto (Ingeniería Básica) se obtienen las emisiones preliminares de los documentos de distintas disciplinas (ANEXO II), con los que se desarrollará un análisis global del sistema, la lista de segregación de líneas y de ser necesario, análisis de esfuerzos preliminar de alguna línea debido a su elevada criticidad.

6.2 Análisis preliminar

Con este análisis preliminar, en términos generales, se busca identificar las líneas críticas que requerirán un análisis formal en la fase de detalle del proyecto. Asimismo, se persigue evaluar la configuración de la planta (plot plant) de manera que no se presenten disposiciones de elementos que perjudiquen la flexibilidad adecuada del sistema de tuberías.

Un ejemplo de esto último es la ubicación de las boquillas y del soporte anclado de los equipos respecto al rack de tuberías, donde la boquilla de mayor diámetro y temperatura debe ubicarse en el lado más lejano del rack, mientras que el lado anclado del equipo, debe ser el más cercano.

En esta fase también se hace un estimado de las cargas en el rack de tuberías, para ser suministradas a la disciplina Civil.

Asimismo, se hace una estimación de los lazos de expansión necesarios.

6.3 Segregación y selección de líneas a analizar

- ✓ Se procederá a segregar las líneas con la finalidad de establecer el grado de criticidad de las mismas, y así determinar el nivel de análisis y prioridad requeridos. Se emplearán los criterios planteados en el ANEXO III y la

experticia del Grupo de Análisis de Esfuerzos. Las categorías mostradas en el anexo deben ser consideradas como una guía, pues pueden esperarse cambios en el tipo de análisis requerido para una tubería de determinada categoría si el Cliente o las especificaciones del proyecto así lo convienen.

- ✓ Luego de la clasificación de las líneas, se procede a agruparlas por sistemas, asignándoles los números de cálculo. El Índice de Cálculos debe mostrar lo siguiente: numeración de los cálculos, revisión, líneas involucradas, categoría, área(s), equipos asociados, iniciales del analista, estatus del cálculo, y observaciones.
- ✓ Se determinará la similitud o equivalencia entre líneas / sistemas y se agruparán en base a las siguientes características:

- Temperatura de Diseño y temperatura máxima de operación.
- Equipos asociados (Bombas, compresores, recipientes, tanques, etc).
- Configuración Geométrica: Se agruparán las líneas en cuanto a su forma geométrica, comparando el diámetro y las longitudes para seleccionar las líneas representativas más críticas del sistema (las de mayor diámetro y menor relación L/U) las cuales servirán de referencia de comparación para el análisis de su grupo (ANEXO IV).

- ✓ Se determinará si las líneas seleccionadas son duplicado o equivalentes a líneas evaluadas previamente en otros proyectos para analizarlas por comparación con las mismas (ANEXO IV).

6.4 Selección del método de análisis a usar

La escogencia del método a emplear está sujeta a la clasificación de líneas establecida anteriormente, complementada por la experiencia del especialista en análisis de esfuerzos. El análisis puede ser visual o formal.

Categoría I
Categoría II } → Análisis Formal
Categoría III

Categoría IV → Análisis Visual

El análisis formal puede ser manual o por computadora. En el ANEXO V se detallan métodos simplificados para el Análisis de Esfuerzos manual, que a pesar de ser poco empleado hoy en día en la práctica, se muestran para fines teóricos. Su uso se reduce a chequeos rápidos o líneas poco críticas. Por su parte, los análisis por computadora implican el uso de programas que realizan cálculos más precisos y complejos de sistemas de tuberías.

6.4.1 Análisis Formal

Este caso, además de cubrir los aspectos del análisis visual, se efectúa una evaluación de las fuerzas, momentos y esfuerzos causados por los desplazamientos y deformaciones ocurridos sobre la tubería, a partir de la consideración simultánea de las restricciones terminales e intermedias, que afecten o restrinjan la libre expansión térmica del sistema completo, incluyendo los movimientos transmitidos por otras tuberías y equipos conectados al sistema. Debido a la cantidad de cálculos requeridos para analizar sistemas de tuberías, generalmente este tipo de análisis se realiza con una simulación por computadora. En este análisis es requerido realizar una memoria de cálculo.

6.4.2 Análisis Visual

Puede ser realizado por experiencia del analista o apoyado en tablas, gráficos y ecuaciones simplificadas (ANEXO VI). En este análisis el analista debe revisar:

a. Forma geométrica de la tubería (la cual debe ser flexible).

b. Distancia entre soportes (apoyos simples y guías).

c. Correcta ubicación de soportes (que no restrinjan la libre expansión de la tubería).

6.5 Preparación del Análisis

En esta fase se obtiene y/o calcula la siguiente información (ver ANEXO II):

6.5.1 Información del proceso tomada de la lista de líneas, la cual incluye:

- Temperaturas de diseño y operación
- Presión de diseño y operación
- Gravedad Específica del fluido.
- Aislamiento Térmico.

6.5.2 Isométricos extraídos del modelo por el diseñador de tuberías (Proyectos 3D) o Isométricos elaborados a partir de los planos de planta (Proyectos 2D), en los que se pueda determinar en forma precisa:

- Geometría de la tubería a analizar
- Especificación de la tubería a analizar (material, espesor y espesor de sacrificio o corrosión permitida).
- Lugares donde puede soportarse la línea; de no ser entregada ya pre-soportada, debe ser retornada al área de diseño.
- Especificación y ubicación de accesorios del sistema de tuberías tales como:
  - Bridas
  - Reducciones
  - Codos
  - Válvulas
  - Válvulas de seguridad (especificando el caudal, presión de disparo y área de la descarga de la válvula o en su defecto la fuerza de reacción que genera al operar).
  - Filtros, etc.

  En el caso de proyectos de Ingeniería Básica, en los que se requiera elaborar isométricos por petición del Cliente, éstos se desarrollarán de acuerdo a lo establecido por el mismo, bien sea en forma de bosquejo a mano o por computadora.

6.5.3 Ubicación y especificaciones de los equipos (tipo de equipo, fuerzas y momentos máximos permitidos en sus boquillas por el fabricante, etc.) conectados a la tubería, tales como:

- Equipos rotativos (Bombas, Compresores, etc.)
- Equipos estáticos (Tanques, Recipientes a presión, etc.)

6.5.4 Fuentes de cargas ocasionales como son:

- Características geológicas del área para determinar la incidencia de sismos (mapa sísmico).

- Características climatológicas del lugar para determinar el efecto de vientos sobre el sistema de tuberías.
- Cualquier otra fuente de cargas ocasionales como son: válvulas de alivio, válvulas de seguridad, equipos que produzcan vibración como equipos reciprocantes, etc.

6.6 Análisis Formal del Sistema de Tuberías

6.6.1 Alcance

Cumplir con los siguientes requerimientos:

a. Permitir que los esfuerzos en la tubería sean menores que los admisibles a las condiciones de diseño, según el código de diseño aplicable.

b. Garantizar la estabilidad de la línea ante cualquier condición de presión externa, por ejemplo, una distribución de presión a causa del viento.

c. Evitar una excesiva deformación de la tubería

d. Garantizar la estabilidad elástica del sistema de tuberías.

e. Evitar excesivas reacciones en las restricciones, anclajes y boquillas de los equipos conectados a las tuberías.

f. Evitar que la expansión y/o contracción térmica causen interferencia entre tuberías adyacentes, estructuras y equipos.

6.6.2 Aspectos a considerar

Como regla general, los pasos que deben seguirse en el Análisis de Esfuerzos en tuberías son los siguientes:

✓ Definición preliminar de la geometría de la línea por parte del Proyectista de Tuberías. El Analista debe evaluar si esta geometría es lo suficientemente flexible.

✓ Definición y ubicación preliminar de las restricciones y apoyos, a cargo del Proyectista de Tuberías. El Analista de Esfuerzos convalidará y/o establecerá las características y ubicación definitivas.

✓ Verificación de los esfuerzos y deformaciones en pruebas hidrostáticas.

- ✓ Verificación de los esfuerzos y deformaciones producidas por las cargas permanentes en sostenido (peso + presión).
- ✓ Verificación de los esfuerzos y deformaciones producidas por las cargas térmicas.
- ✓ Verificación de los esfuerzos debido a cargas ocasionales (métodos dinámicos, o alternativos estáticos).
- ✓ Verificación de cargas sobre restricciones.
- ✓ Verificación de las reacciones en las boquillas de los equipos y conexiones.
- ✓ Verificación de la estabilidad elástica.

6.6.3 Casos de cargas a ser analizados

Para las verificaciones planteadas en el punto anterior, es necesario definir las cargas y las combinaciones de éstas que deben ser soportadas por las tuberías, restricciones y boquillas de los equipos conectados al sistema analizado.

Las cargas pueden ser sumadas algebraicamente para obtener valores reales, o absolutamente para resultados más conservadores.

A continuación se muestra una amplia lista de casos de cargas combinadas para analizar. Los casos empleados en un análisis específico, depende de las características del sistema y de las especificaciones del proyecto, por lo que, no necesariamente se deben aplicar todos estos casos a todos los sistemas de tuberías analizados.

a. Cargas

TIPO DE CARGA	DESCRIPCIÓN
W	Peso

WW	Peso lleno de Agua
P	Presión
HP	Presión de prueba hidrostática (Hydrostatic Proof).
T	Térmicas
D	Desplazamientos
F	Fuerzas externas (descargas de válvulas de alivio, golpes de ariete, etc.)
H	Resortes
U	Cargas uniformes (Sísmicas. Método alternativo Estático).
WIN	Carga de Viento

b. Combinaciones De Cargas

- **Condiciones normales**

COMBINACIÓN DE CARGAS	
W+P+H	Sostenido (SUS), para el cálculo del los esfuerzos longitudinales en la tubería, que se compara con el esfuerzo admisible "**Sh**" o "**Sy**", según la norma a aplicar
T	Expansión, esfuerzos térmicos para el cálculo de "**Se**" y su comparación con los admisibles "**Sa**"
W+T+P+D+F	Operación/Diseño, para evaluar las reacciones en los soportes y boquillas. No existe criterio de esfuerzo admisible para la tubería en este caso
WW+HP	Prueba hidrostática, para la evalución de los esfuerzos producidos, en caso de que aplique
W (Peso)	Estudio de las cargas en la tubería, soportes y boquillas en la instalación (poco usado)

- **Condiciones Ocasionales**

COMBINACIÓN DE CARGAS	
W+P+U	Ocasional por cargas uniformes (sismos). Permite cálculo de los esfuerzos en la tubería producidos por cargas ocasionales para compararlo con el esfuerzo admisible según las normas ANSI/ASME B31)
W+P+WIN	Ocasional por cargas debidas al viento. Evaluación de los esfuerzos en la tubería
W+P+F	Ocasional por cargas producidas en la descarga de válvulas de alivio, golpes de ariete, etc. Evaluación de los esfuerzos en la tubería
W+P+T+U	Ocasional por cargas uniformes (sismos). Para la evaluación de las cargas en soportes y boquillas
W+P+T+WIN	Ocasional por cargas producidas por el viento. Para la evaluación de las cargas en soportes y boquillas
W+P+T+F	Ocasional por cargas producidas por la descarga de válvulas de alivio, golpes de ariete, etc. Para la evaluación de las cargas en soportes y boquillas

6.6.4 Validación de los resultados obtenidos

Se validarán los resultados de acuerdo a lo especificado en el ANEXO VII. De encontrarse algún problema, éste se corregirá y se realizará nuevamente el análisis.

6.6.5 Interpretación de los resultados

Una vez que los resultados hayan sido validados, se evaluarán los esfuerzos, desplazamientos y cargas sobre las restricciones y boquillas de los equipos, de manera que sean admisibles de acuerdo al código en uso, al fabricante y a las especificaciones del proyecto.

Si el sistema no es capaz de absorber las dilataciones térmicas (ANEXO VIII), de manera que sobrepasa los esfuerzos admisibles sobre las tuberías y las cargas sobre las boquillas, así como tampoco resiste las cargas sostenidas o las ocasionales, el ingeniero analista tiene a su disposición los siguientes recursos:

a. Revisión de los soportes y reubicación si es necesario. Cuando en una restricción las fuerzas asociadas a la misma se anulan, significa que no está actuando eficientemente (ver DIC-121-G07 Diseño y Selección de Soportes de Tuberías).

b. Modificación del tipo de soporte en puntos específicos.

c. Utilización de soportes flexibles (Ver DIC-121-G07 Diseño y Selección de Soportes de Tuberías).

d. Modificación parcial del recorrido de la línea en zonas específicas.

e. Utilización de lazos de expansión (ANEXO X).

f. Utilización de juntas de expansión y barras tensoras (ANEXO IX).

g. Pretensado en frío.

En términos generales, estos recursos deben probarse en el orden descrito hasta lograr la flexibilidad requerida. En el caso de que el sistema en sí mismo posea suficiente flexibilidad, pero las cargas sobre algún equipo estacionario (recipientes a presión, intercambiadores de calor, torres, etc.) sea excesiva, podrá considerarse como alternativa una modificación del refuerzo de la boquilla.

DEFLEXIÓN MÁXIMA: Es muy importante que los desplazamientos entre soportes (deflexión) se encuentren dentro los límites permitidos según lo especificado en el proyecto (requerimientos del Cliente).

DESPLAZAMIENTOS LONGITUDINALES Y LATERALES: referido a los desplazamientos por expansión térmica que deben ser considerados a fin que las tuberías no colisionen entre sí (colocar guías) y que no se caigan de los soportes. Los desplazamientos admisibles son establecidos por las especificaciones del proyecto.

ESFUERZOS: De acuerdo al código B31.3, se evalúan los esfuerzos en condiciones de sustentación, expansión y ocasional (la prueba hidrostática se estudia como un caso de sustentación), mientras que, para el caso de los códigos B31.4 y B31.8, se evalúan además los casos de operación.

EQUIPOS: generalmente las normas de construcción indican las cargas admisibles que pueden ser aplicadas a las boquillas o conexiones.

Ver ANEXO X para mayores detalles en la evaluación de las cargas en las boquillas de los equipos.

- Bombas Centrífugas: API 610, ANSI B 37.1, estándar del fabricante
- Compresores Centrífugos: API 617, Apéndice G
- Turbinas de Vapor: NEMA 23
- Compresores Reciprocantes: API 618
- Bombas de Desplazamiento Positivo: API 674
- Bombas de Desplazamiento Positivo de Volumen Controlado: API 675
- Calentadores de Fuego Directo: API 560
- Enfriadores de Aire: API 661
- Tanques de Almacenamiento: API 650, Apéndice P
- Recipientes a presión: WRC-107 (Welding Research Council Bulletin No.107)

6.7 Elaboración del Informe

Se procederá a realizar el informe con los análisis, memorias de cálculo y recomendaciones realizadas, de acuerdo al ANEXO XI.

7. RESPONSABILIDADES Y ACTIVIDADES

RESPONSABLE	ACTIVIDAD
Supervisor de Tuberías	**a.** Revisar y aprobar los lineamientos de para el Análisis de Esfuerzos en Tuberías. **b.** Solicitar y recibir la información necesaria de otras disciplinas para el análisis. **c.** Emitir el Plano de Implantación, Planos de Tuberías, Isométricos.
Líder de Esfuerzos en Tuberías	**a.** Coordinar las actividades del grupo de Análisis de Esfuerzos, de acuerdo a las prioridades establecidas. **b.** Identificar los lineamientos para el

RESPONSABLE	ACTIVIDAD
	Análisis de Esfuerzos particulares del el proyecto y adaptarlos a lo establecido en esta Guía. **c.** Procurar que el grupo bajo su cargo esté siguiendo los procedimientos establecidos para su trabajo. **d.** Verificar la calidad y confiabilidad de los resultados arrojados por el grupo.
Analista	**a.** Realización de los cálculos de acuerdo a las directrices suministradas en esta Guía y en las especificaciones del proyecto en particular. **b.** Verificar junto al diseñador los posibles cambios de configuración de la línea analizada. **c.** Luego del análisis, devolver al Diseñador el Isométrico con comentarios, cambio de ruta y/o tipos de soportes con su ubicación bien señalada (lo que aplique). **d.** Definir y llevar control de los soportes civiles y transmitirle a la disciplina Civil las cargas y ubicación de los mismos. **e.** Verificar que las cargas sobre los soportes del estándar, sean admisibles por éstos. **f.** Estimar y llevar control de las cargas sobre soportes en los equipos, y transmitir a la disciplina correspondiente los valores de esas cargas así como su ubicación. **g.** Estimar la cargas en las boquillas en los equipos y transmitir a la disciplina correspondiente para su evaluación. **h.** Llevar control de los soportes especiales, resortes, juntas de expansión, etc.
Diseñador.	**a.** Entregar al analista los isométricos actualizados de acuerdo a la prioridad establecida.

RESPONSABLE	ACTIVIDAD
	b. El isométrico debe ser entregado con las posibles localizaciones de los soportes. **c.** Informar al Analista / Líder cualquier cambio realizado a las líneas que fueron analizadas anteriormente con otra configuración.

8. REGISTROS

Los registros de las actividades señaladas en este documento, son los siguientes:

- **Informe Final**: (Ver ANEXO XI) este documento debe incluir, entre otros documentos, las Memorias de Cálculo de cada sistema analizado.
- **Listado de Segregación de Líneas**: (Ver ANEXO XIII, Formato DIC-122-V01-A), este listado debe mantenerse actualizado permanentemente respecto a la Lista de Líneas de Procesos.
- **Isométrico comentado por el Analista de Esfuerzos**: Este documento utiliza como base una copia dura de el(los) isométrico(s) de la(s) línea(s) a ser analizada(s), y es generado por el grupo de diseño de tuberías. Una vez incorporados los datos y comentarios del Analista de Esfuerzos, es devuelto al Diseñador de Tuberías responsable de la línea o sistema correspondiente, debiéndose preservar una copia debidamente archivada con su número de cálculo.
- **Control de envío de cargas a la disciplina Civil**: (Ver Formatos DIC-122-V01-C, DIC-122-V01-D, DIC-122-V01-E). Estos documentos serán compartidos con la disciplina de Civil, y deberán mantenerse actualizados en archivo electrónico. Por su parte, cada proyecto establecerá el formato en que representará el soporte a ser evaluado por Civil, el cual deberá incluir como mínimo lo siguiente: sketch del soporte y las tuberías con las dimensiones correspondientes, coordenadas de la base del soporte, ubicación de la(s) tubería(s) sobre el soporte, sistema de coordenadas, cargas aplicadas por cada tubería, el número de control del soporte, número de revisión y responsable.
- **Cargas y ubicación soportes en equipos**: (ver Formatos DIC-122-v01-G, DIC-122-v01-H, DIC-122-v01-I) Estos documentos deben ser compartidos con la disciplina de Equipos, y deberán mantenerse actualizados en archivo electrónico. Se le entregará una copia dura a la disciplina Equipos con los datos iniciales, conservando una copia de respaldo.
- **Cargas sobre boquillas**: (ver Formatos DIC-122-v01-J, DIC-122-v01-K, DIC-122-v01-L, DIC-122-v01-M, DIC-122-v01-N) Estos documentos deben ser compartidos con la disciplina de Equipos, y deberán mantenerse actualizados en archivo

electrónico. Se le entregará una copia dura a la disciplina Equipos con los datos iniciales, conservando una copia de respaldo.

- **Lista de Verificación**:

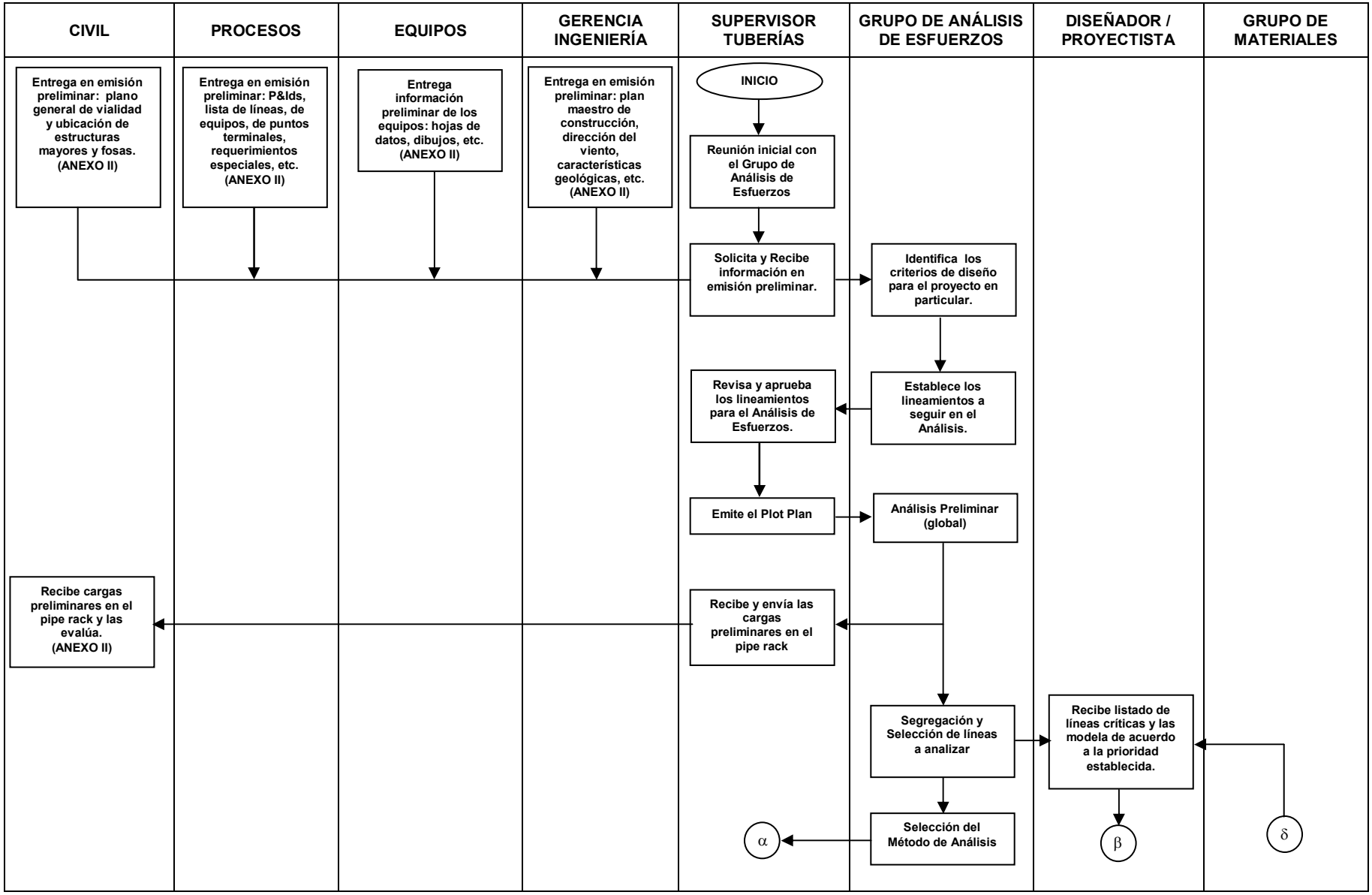
9. ANEXOS

Anexo I	Diagrama De Flujo Para El Análisis De Esfuerzos
Anexo II	Documentos Requeridos Por El Grupo De Análisis De Esfuerzos En Ingeniería Básica Y De Detalle
Anexo III	Criterios Para La Segregación De Líneas
Anexo IV	Criterios De Comparación De Sistemas De Tuberías
Anexo V	Ecuaciones Simplificadas Para Determinación De Requerimiento De Análisis De Esfuerzo
Anexo VI	Cálculos Analíticos
Anexo VII	Validación De Los Resultados
Anexo VIII	Variables Que Afectan La Flexibilidad De Una Línea
Anexo IX	Medios Para Aumentar La Flexibilidad De Sistemas De Tuberías
Anexo X	Evaluación De Cargas En Los Equipos
Anexo XI	Elaboración Del Informe

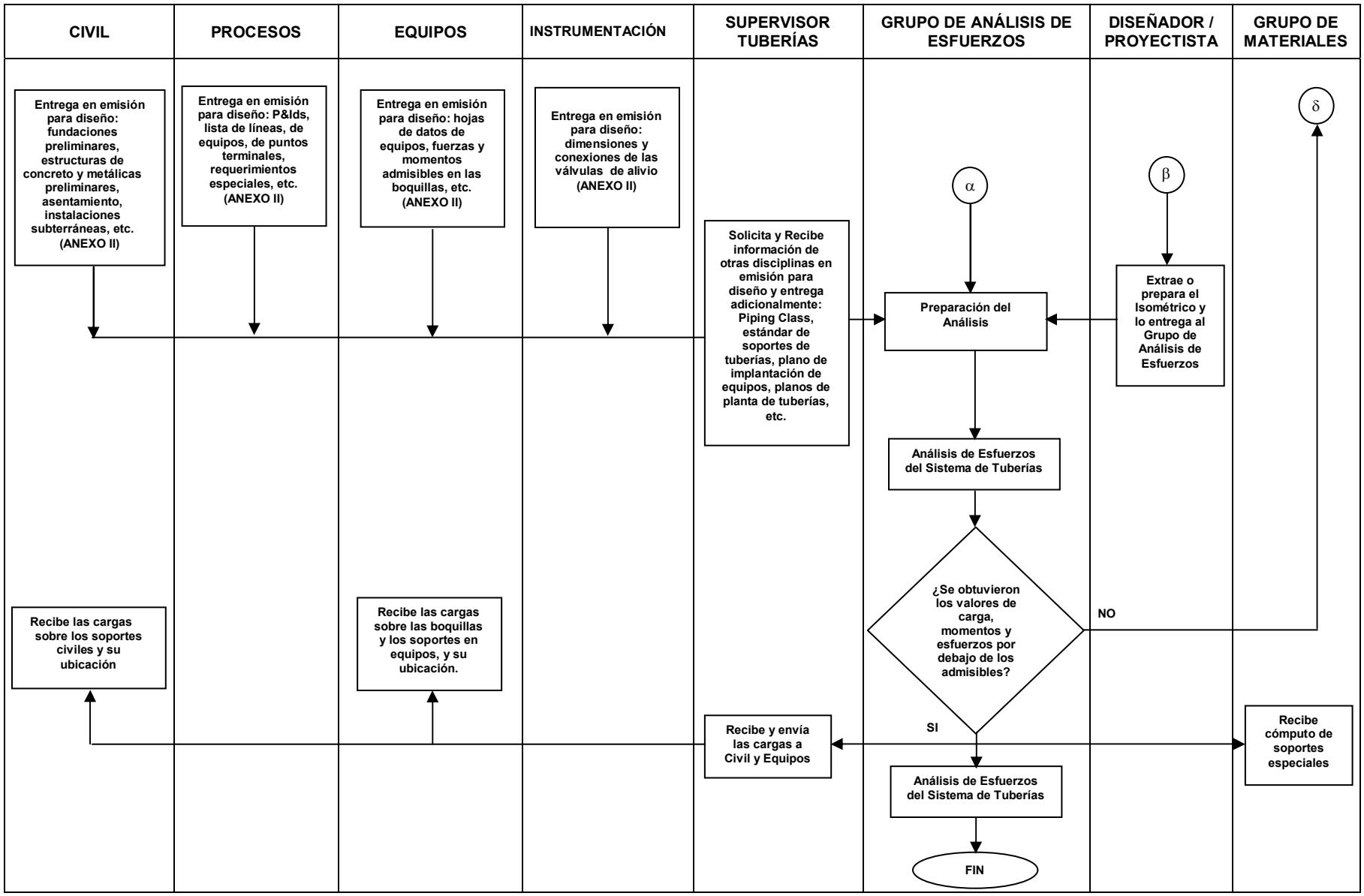
ANEXO I

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ANÁLISIS DE ESFUERZOS

FLUJOGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN SISTEMAS DE TUBERÍAS



FLUJOGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN SISTEMAS DE TUBERÍAS



ANEXO II

DOCUMENTOS REQUERIDOS POR EL GRUPO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA FASE DE INGENIERÍA BÁSICA E INGENIERÍA DE DETALLE

<u>INGENIERÍA BÁSICA</u> (documentos en Emisión Preliminar)

Gerencia de Ingeniería

- Plan Maestro de construcción
- Dirección del viento
- Características Geológicas, incidencia de sismos
- Requerimientos para el Análisis de Esfuerzos por parte del Cliente.

Disciplina Procesos

- P&IDS
- Lista de Líneas
- Lista de Equipos
- Lista de puntos terminales
- Requerimientos especiales del proyecto
- Condiciones especiales que puedan originar cargas ocasionales como: golpe de ariete, slug, etc.

Disciplina Equipos

- Información preliminar de los equipos, tales como: hoja de datos (data sheet), dibujos de equipos, etc.

Disciplina Tuberías

- Planos de ubicación de equipos preliminar

Disciplina Civil

- Plano general de vialidad y ubicación de estructuras mayores y fosas.

<u>INGENIERÍA DE DETALLE</u> (documentos en Emisión para Diseño)

Disciplina Procesos

- P&IDS
- Lista de Líneas
- Lista Equipos
- Lista de puntos terminales
- Requerimientos especiales de proyectos

Disciplina Equipos

- Hojas de datos de Equipos y/o planos
- Fuerzas y momentos admisibles en las boquillas

Disciplina Tuberías

- Materiales de Tuberías (Piping Class)
- Soportes de Tuberías
- Plano de Implantación de Equipos
- Planos de Planta de tuberías, Secciones/Detalles, estudios sobre puentes de tuberías
- Isométricos que definen la configuración de las líneas
- Estándar de soportes

Disciplina Civil

- Fundaciones preliminares
- Estructuras de concreto y metálicas preliminares
- Asentamiento del terreno
- Instalaciones subterráneas
- Edificaciones

Disciplina Instrumentación

- Dimensiones y conexiones de Válvulas de Alivio

ANEXO III

CRITERIOS PARA LA SEGREGACIÓN DE LÍNEAS

CRITERIOS DE SEGREGACIÓN

La Lista de Segregación se obtiene a partir de la Lista de Líneas emitida por la disciplina de Procesos. En ella se incluyen todas las líneas diseñadas por el código que aplique, ASME/ANSI B31.1, 31.3, 31.4, 34.8, etc. y se clasifican de acuerdo a su criticidad.

a. Líneas con Categoría I

Son aquellas que pueden requerir de análisis y diseños especiales, debido a que los lineamientos establecidos en los códigos no suministran toda la metodología de análisis necesaria para su evaluación; por lo cual, no pueden analizarse mediante métodos tradicionales, y requieren programas de software especializado a través de computadora.

Algunos ejemplos en esta categoría son:

- Líneas con servicios de alta presión, cuando ésta excede el rango de presión y temperatura de diseño especificada como permisible por el ASME B16.5 - Clase 2500 (o equivalente).
- Líneas con servicio en alta temperatura, cuando la temperatura de diseño del metal excede 500°C
- Líneas diseñadas para más de 22,000 ciclos de operación.
- Líneas que requieren análisis dinámicos.
- Líneas conectadas a equipos reciprocantes y que requieran estudios analógicos y/o de vibración (como mínimo requieren análisis de los armónicos).
- Líneas con flujo en dos fases, que puede requerir de análisis dinámico.
- Líneas con juntas de expansión no restringidas.
- Líneas sujetas a gradiente térmico (efecto banana).
- Líneas con servicio de fluidos con Categoría “M” de acuerdo al ASME B31.3 (o equivalente).
- Líneas de transferencia (transfer).
- Líneas de gas natural licuado
- Líneas de gran diámetro, cuando la tubería exceda Ø42”.

b. Líneas con Categoría II

Son aquellas que debido a su diámetro, temperatura, material, tipo de equipo conectado, etc., o, a la combinación de varios de esos factores, requieren un análisis formal mediante software especializado a través de computadora.

Algunos ejemplos en esta categoría son:

- Líneas conectadas a equipos con limitación de cargas (elementos mecánicos) externas, tales como:
  - Líneas de diámetro mayor o igual a 3”, y conectadas a bombas y compresores reciprocantes, compresores centrífugos y turbinas, cuya temperatura de operación normal exceda los 90°C.
  - Líneas conectadas a bombas centrífugas con las siguientes características:
    - Diámetros entre 4” a 10”, con temperatura de operación normal de 145ºC o mayor.

- Diámetros mayores o iguales a 12”, con temperatura de operación normal mayor o igual a 120ºC.

- Líneas de diámetro mayor que la boquilla de la bomba y con temperatura de operación de mayor o igual a 120ºC.
- Líneas conectadas a equipos con asentamientos diferenciales de 12 mm (1/2”) o mayores.
- Líneas conectadas a aeroenfriadores (fan coolers)
- Líneas conectadas a equipos con limitación de esfuerzos, tales como:
  - Líneas conectadas a recipientes clasificados como ASME Sección VIII, División 2 (o equivalente).
  - Líneas conectadas a calentadores a fuego directo u hornos
- Líneas conectadas a equipos de aluminio, cajas frías, enfriadores de aire, etc.
- Líneas enchaquetadas o sujetas a presión externa
- Líneas de materiales especiales o “exóticos” como titanio, monel, incoloy, etc.
- Líneas conectadas a sistemas de alivio.
- Todas las líneas designadas como Categoría II, en la FIGURA 1.

c. Líneas con Categoría III

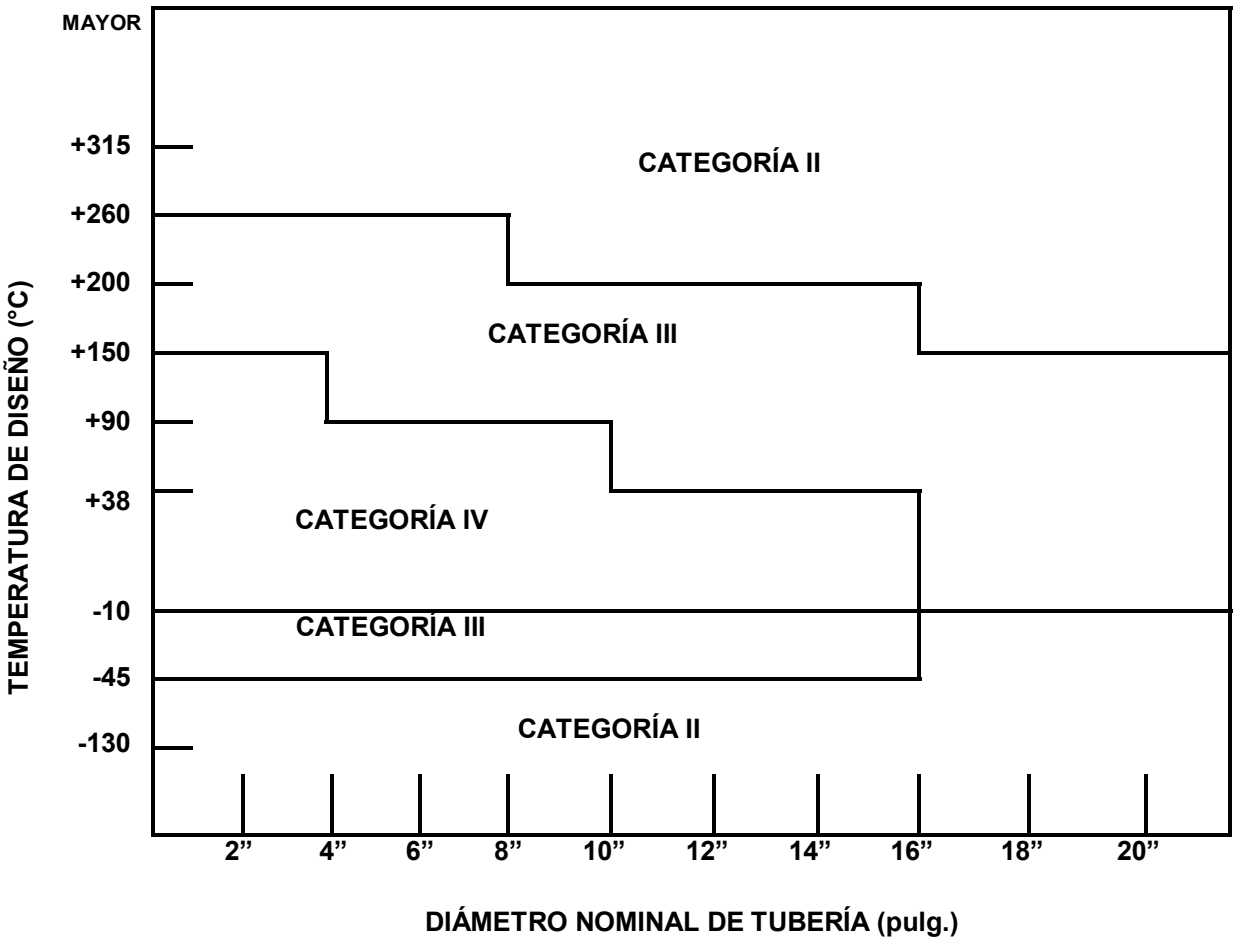
Las líneas de esta categoría también requerirán análisis formal (Sección 6.4).

- Líneas conectadas a equipos con limitación de cargas externas y/o de esfuerzos, que aparecerían contenidas dentro de la Categoría II, pero que debido a su diámetro o temperatura, no quedan contenidas dentro de ella.
- Líneas conectadas a otras que requieren análisis de esfuerzos y que puedan tener un efecto significativo sobre éstas.
- Líneas con recubrimiento interno, o cementadas.
- Líneas de gran longitud como en puentes de tuberías, trincheras, etc., cuando sean:
  - Líneas de diámetro menor a 6" y con temperatura de diseño mayor o igual a 150ºF (65ºC) o menor a 20ºF (-7ºC)
  - Líneas de diámetro mayor o igual a 6" y con temperatura de diseño mayor o igual a 100ºF (38ºC) o menor a 20ºF (-7ºC)
- Todas las líneas designadas con Categoría III, en la FIGURA 1.

d. Líneas con Categoría IV

Las líneas en esta categoría se encuentran en un rango de temperaturas bajas, incluso ambientales, y aparecen designadas con Categoría IV en la gráfica a que se muestra a continuación (FIGURA 1). Es muy importante destacar, que independientemente de que una línea de 10” o mayor sea designada con esta Categoría por la Figura mostrada, si está conectada a equipos críticos, tales como turbinas, compresores, bombas, aeroenfriadores, etc, se le debe asignar la Categoría III.

FIGURA 1
CATEGORÍAS DE CRITICIDAD DE LÍNEAS
SEGÚN SU DIÁMETRO Y TEMPERATURA DE DISEÑO



ANEXO IV

CRITERIOS PARA LA COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TUBERÍAS EQUIVALENTES

¿Cuándo dos sistemas se consideran equivalentes o representativos?

Dos sistemas son equivalentes o representativos cuando del análisis de flexibilidad de uno de ellos podemos inferir la flexibilidad del otro.

Criterios para determinar si dos sistemas son equivalentes o representativos

1 Cuando tienen una configuración geométrica similar y están conectados a equipos similares.

2 Cuando están conectados a un equipo similar y poseen una geometría similar, difiriendo en alguna de las siguientes variables:

2.1 La temperatura es menor: En este caso, si la línea que trabaja a mayor temperatura es flexible, la de menor temperatura también lo es.

2.2 El diámetro en menor: En este caso, si la línea de mayor diámetro es flexible, la de menor diámetro también lo es.

2.3 La distancia entre anclajes (U) es menor y la longitud perpendicular (Lp) es igual: En este caso, si la línea con mayor distancia entre anclajes es flexible, la de menor distancia también lo es.

2.4 La longitud perpendicular (Lp) es mayor y la distancia entre anclajes (U) es igual: En este caso, si la línea con menor longitud perpendicular es flexible, la de mayor longitud perpendicular también lo es.

2.5 Pueden aplicarse la combinación descrita en los puntos 2.1 hasta 2.4, siempre que sean ambos a mejorar la flexibilidad del sistema.

Ejemplo:

Si se tiene que analizar una línea similar (parecida geométricamente y conectada a un mismo tipo de equipo) a otra ya analizada, pero ésta última es de menor diámetro y mayor longitud perpendicular (Lp), entonces, se puede concluir diciendo que si la línea de mayor diámetro y menor longitud perpendicular (Lp) es flexible y cumple con los requerimientos del ASME B-31, la que se esta analizando (por comparación) es mucho mas flexible y por lo tanto también cumple con los requerimientos del ASME B-31.

ANEXO V

ECUACIONES SIMPLIFICADAS PARA DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS

1. REQUERIMIENTO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN TUBERÍAS

De acuerdo a los Códigos ANSI/ASME B31.1, 31.3, 31.4, 31.8, etc. para tuberías a presión, no se requerirá de un Análisis de Esfuerzos formal para un Sistema de Tuberías cuando:

9.1 El sistema es un duplicado o reemplazo de otro, sin cambios significativos, que haya operado o que esté operando con un historial de servicio satisfactorio.

9.2 El sistema puede ser evaluado como adecuado mediante experticia, por comparación con otros sistemas evaluados previamente.

9.3 El sistema es del mismo diámetro, no tiene más de dos puntos de anclaje, sin restricciones intermedias, está diseñado esencialmente para un servicio no cíclico (menos de 7000 ciclos totales) y satisface las limitaciones del criterio aproximado expresado en la siguiente fórmula empírica:

$$\frac{D * Y}{(L-U)^2} \leq K \qquad (3.1)$$

Donde:

D = Diámetro nominal de la tubería, en Pulgadas (Milímetros) (Según ASME B-31.1)

Diámetro exterior de la tubería, en Pulgadas (Milímetros) (Según ASME B-31.3)

Y = Resultado del total de desplazamientos a ser absorbidos por el sistema, en Pulgadas (Milímetros)

L = Longitud desarrollada por la tubería, en su eje, entre los dos anclajes, Pies (Metros)

U = Distancia en línea recta uniendo los dos anclajes, Pies (Metros)

K = Constante

K = Unidades Inglesas = 0,03

K = Unidades SI = 208,3

ADVERTENCIA SOBRE LA FÓRMULA

Los Códigos ANSI/ASME B31 hacen la siguiente advertencia:

"No puede ofrecerse una prueba general de que esta ecuación tendrá resultados precisos o consistentemente conservadores. No es aplicable a sistemas bajo condiciones cíclicas severas. Debe utilizarse con prudencia en configuraciones tales como lazos de expansión en U de lados desiguales (L/U > 2,5) o trayectos cerrados ("dientes de sierra") casi rectos, o para tuberías de gran diámetro y paredes delgadas (i>5), o donde desplazamientos externos (diferentes a la dirección que une los puntos de anclaje) constituyen una gran parte del desplazamiento total. No hay garantía de que las reacciones terminales sean

aceptablemente bajas aún cuando el Sistema de Tuberías cumpla con las limitaciones de la fórmula".

2. CONCLUSIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE ANÁLISIS

De acuerdo a lo antes indicado, para realizar análisis de esfuerzos en forma eficiente, se deben realizar los diseños siguiendo los siguientes criterios:

9.4 El diseño de los sistemas de tuberías debe guardar simetría entre sí de forma de poder separar o dividir el sistema en secciones más pequeñas equivalentes y de esta forma, reducir la complejidad de los sistemas a analizar.

9.5 Los diseños deben ser réplicas o duplicados de sistemas realizados y analizados previamente, con lo cual el análisis se reduce a una comparación entre los sistemas.

9.6 Si se requiere diseñar varios sistemas de tuberías, se buscará realizar sistemas equivalentes o representativos entre sí de forma de reducir el número de líneas a analizar en forma numérica, analizando sólo por comparación (ANEXO IV).

3. EXTENSIÓN DE LA APLICACIÓN DE LAS ECUACIONES DE FLEXIBILIDAD DEL ASME B31

Del *"Piping- Flexibility Analysis" de A.R.C Markl, ASME Paper 53-A-51*, con fecha del 08/05/95 se tiene una aplicación extendida de los criterios de flexibilidad del código ASME B-31.

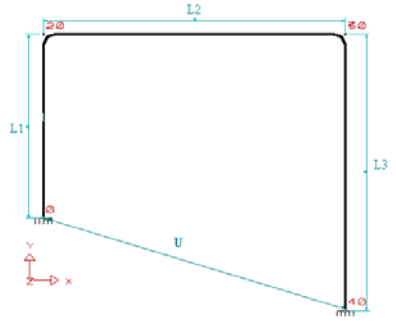
Las ecuaciones de Flexibilidad presentadas asumen que el sistema de tuberías tiene las siguientes características:

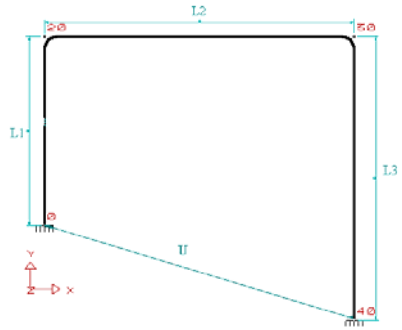
a.- Están compuestas de un sólo material.

b.- Sólo tiene anclajes en los extremos.

c.- No tiene restricciones intermedias a la expansión térmica.

1) Tubería de material ferroso sin ramificaciones y menos de 7000 ciclos:		
Ecuaciones	**Variables**	**Restricciones**
$\frac{D*Y}{(L-U)^2} \leq 0.03$ (3.1 a) (Sistema Ingles) $\frac{D*Y}{(L-U)^2} \leq 208.3$ (3.1 b) (Sistema Internacional)	D = Diámetro nominal (pulg. ó mm) Y = Expansión térmica (pulg. ó mm) U = Distancia entre anclajes (pies ó metros) L = Longitud total de la tubería (pies ó metros)	▪ Ciclos de trabajo < 7000 ▪ Solo aplicable a materiales ferrosos ▪ Diámetro de tubería constante ▪ Existencia solo anclajes en los extremos ▪ No poseer restricciones intermedias que afecten la libre expansión de la

 Donde L=L1+L2+L3		tubería ▪ No poseer ramificaciones ▪ Temperatura<800 °F (427 ºC)

2) Tubería de material no ferroso sin ramificaciones:		
Ecuación $\frac{D*Y}{(L-U)^2} \leq 30*Sa/Ec$ (3.1 c)  Donde L=L1+L2+L3	**Variables** D = Diámetro nominal (pulg. ó mm) Y = Expansión térmica (pulg. ó mm) L = Longitud total de la tubería (pies ó metros) Sa = Máximo esfuerzo admisible (psi ó Kg/cm^2) Sa = Máximo esfuerzo admisible (psi ó Kg/cm^2) Sa = f (1.25 Sc + 0.25 Sh) Sc = Máximo esfuerzo a tensión a temperatura ambiente Sh = Máximo esfuerzo a tensión a temperatura de diseño Ec = Módulo de elasticidad en frío (psi ó Kg/cm^2).	**Restricciones** ▪ Ciclos de trabajo < 7000 ▪ Diámetro de tubería constante ▪ Están compuestas de un solo material ▪ Existencia solo anclajes en los extremos ▪ No poseer restricciones intermedias que afecten la libre expansión de la tubería ▪ No poseer ramificaciones ▪ Temperatura<800 °F (427 ºC)

3.a) Tuberías ferrosas con cambios de sección.
Para Tuberías no ferrosas usar (30 S_a/Ec* Zs/Zl)

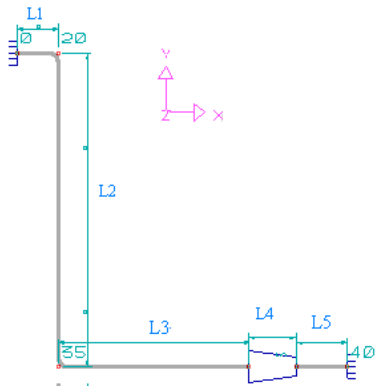
Ecuaciones

$$\frac{D*Y}{(L-U)^2} \leq 0.03*\frac{Zs}{Zl} \quad (3.1\ d)$$

(Sistema Ingles)

$$\frac{D*Y}{(L-U)^2} \leq 208.3*\frac{Zs}{Zl} \quad (3.1\ e)$$

(Sistema Internacional)



Variables

D = Diámetro nominal mayor (pulg. ó mm)

Y = Expansión térmica (pulg. ó mm)

U = Distancia entre anclajes (pies ó metros)

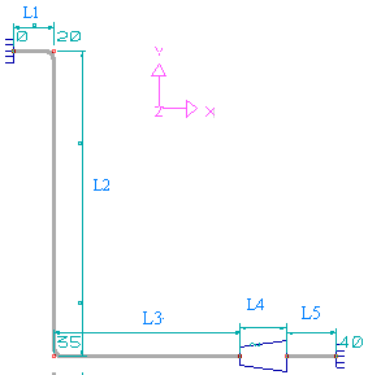
L = Longitud total de la tubería (pies ó metros)

Zs/Zl = Diámetro menor / Diámetro Mayor

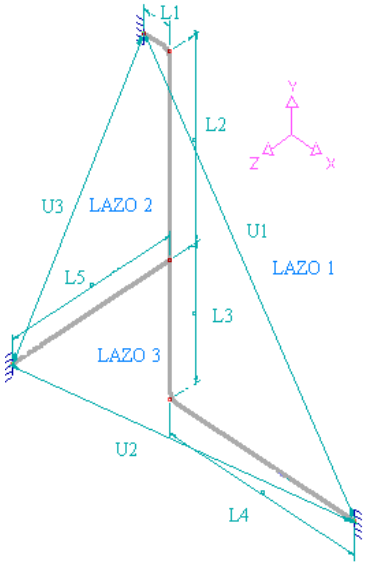
Restricciones

- Ciclos de trabajo < 7000.
- Solo aplicable a materiales ferrosos
- Existencia solo anclajes en los extremos
- No poseer restricciones intermedias que afecten la libre expansión de la tubería
- No poseer ramificaciones
- Temperatura<800 °F (427 ºC)

3.b) Tuberías ferrosas con cambios de sección.
Para Tuberías no ferrosas usar (30 S_A/Ec)

Ecuaciones	**Variables**	**Restricciones**
$\frac{D*Y}{(L-U)^2} \leq 0.03$ (Sistema Ingles) $\frac{D*Y}{(L-U)^2} \leq 208.3$ (Sistema Internacional)  	D = Diámetro nominal menor (pulg. ó mm) Y = Expansión térmica (pulg. ó mm) U = Distancia entre anclajes (pies ó metros) L = Longitud total de la tubería de menor diámetro(pies ó metros)	▪ Ciclos de trabajo < 7000 ▪ Solo aplicable a materiales ferrosos ▪ Existencia solo anclajes en los extremos ▪ No poseer restricciones intermedias que afecten la libre expansión de la tubería ▪ No poseer ramificaciones ▪ Temperatura<800 °F

4) Tubería de material ferroso con ramificaciones:
Para Tuberías no ferrosas usar (30 S_A/Ec)

Ecuación	**Variables**	**Restricciones**
$$\left(\frac{D*Y}{(L-U)^2}\right)_{max} \leq 0.03$$  Donde : Lt1 = 1+L2+L3+L4 Lt2 =L1+L2+L5 Lt3 = L5+L3+L4 Y1= U1*α*Δt Y2= U2*α*Δt Y3= U3*α*Δt	D = Diámetro nominal (pulg. ó mm) Yi = Expansión térmica (pulg. ó mm) Ui = Distancia entre anclajes (pies ó metros) Lti = Longitud total de la tubería (pies ó metros)	▪ Ciclos de trabajo < 7000 ▪ Solo aplicable a materiales ferrosos ▪ Existencia solo anclajes en los extremos ▪ No poseer restricciones intermedias que afecten la libre expansión de la tubería ▪ Debe cumplirse en cada una de las ramas ▪ Temperatura<800 °F

4. EVALUACIÓN DE SISTEMAS CONECTADOS A EQUIPOS QUE PRESENTAN EXPANSIONES TÉRMICAS O MOVIMIENTO POR ASENTAMIENTO DEL TERRENO

Para evaluar la flexibilidad de un sistema conectado a un equipo que presenta expansión térmica o asentamiento del terreno, se requiere:

9.7 Determinar el valor de la expansión o desplazamientos iniciales del anclaje o boquilla conectada al sistema en cada eje coordenado.

$$\Delta x = lx * \alpha * \Delta t + \Delta ax \qquad (3.2\ a)$$

$$\Delta y = ly * \alpha * \Delta t + \Delta ay \qquad (3.2\ b)$$

$$\Delta z = lz * \alpha * \Delta t + \Delta az \qquad (3.2\ c)$$

Donde :

Δ_x, Δ_y, Δ_z = Movimiento de expansión y asentamiento de los recipientes en los ejes X, Y y Z.

l_x, l_y, l_z = Longitud de los recipientes en el ejes X, Y y Z, medidos desde el anclaje hasta la boquilla en cuestión.

α = Coeficiente de expansión térmica (pulg./(pulg. ºF))

Δt = Cambio de temperatura.

Δax, Δay, Δaz = Movimientos de asentamiento de los recipientes en los ejes X, Y y Z.

Nota :

Δ_x, Δ_y, Δ_z se consideran positivas si la expansión que producen los recipientes aumenta la deformación o expansión a ser absorbida por el sistema de tuberías, y se considerará negativa si dicha expansión libera la tubería.

9.8 Descomponer las expansiones térmicas del sistema en sus tres componentes X, Y y Z, y adicionar los desplazamientos o expansiones de los equipos a los extremos el sistema de tuberías sobre el sistema de tuberías.

e.

$$Y = \sqrt{Y_x^{\ 2} + Y_y^{\ 2} + Y_z^{\ 2}} \qquad (3.3)$$

$$Y_x = U_x * \alpha * \Delta t \pm \Delta x \qquad (3.3\ a)$$

$$Y_y = U_y * \alpha * \Delta t \pm \Delta y \qquad (3.3\ b)$$

$$Y_z = U_z * \alpha * \Delta t \pm \Delta z \qquad (3.3\ c)$$

Donde :

Y_x, Y_y, Y_z = Expansión térmica en las direcciones X, Y, Z (pulg.)

U_x, U_y, U_z = Distancia en entre los anclajes en las direcciones X, Y, Z (pies)

Δ_x, Δ_y, Δ_z Expansión térmica y asentamiento del equipo en las direcciones X, Y y Z (pulg.)

l_x, l_y, l_z = Longitud del equipo o recipiente al anclaje en la dirección X, Y y Z (pulg.)

α = Coeficiente de expansión térmica (pulg./(pulg. ºF))

Δt = Cambio en la temperatura (ºF)

f.

Nota :

Δx, Δy , Δz son positivas si la expansión que producen los recipientes aumenta la deformación o expansión a ser absorbida por el sistema de tuberías, y se considerará negativa si dicha expansión libera la tubería.

Evaluar en la ecuación de flexibilidad

$$\frac{D * Y}{(L - U)^2} \leq 0.03 \qquad (3.1)$$

Donde:

D = Diámetro nominal de la tubería (pulg.)
Y = Expansión en la dirección de U (pulg.)
U = Distancia entre los anclajes medido en línea recta (pies)
L = Longitud total de la tubería (pies)

ANEXO VI
CÁLCULOS ANALÍTICOS

Existen varias formas de realizar los análisis de flexibilidad aceptadas por el código ASME B31 entre ellos se encuentran:

- Tube turns
- ITT Grinnell
- M.K. Kellogg
- El método de la Viga en Cantiliver

Los cuales poseen un conjunto de tablas, gráficos y ecuaciones que de acuerdo con el ASME B-31, pueden ser usados en el rango de configuraciones para los cuales su precisión ha sido demostrada como adecuada.

1. **ECUACIÓN DE FLEXIBILIDAD PRESENTADA POR EL CÓDIGO**

   La ecuación de flexibilidad presentada por el Código B-31 es una simplificación de la ecuación de la viga en cantiliver, la cual al igual que la extensión de la aplicación de las ecuaciones de flexibilidad presentada por *A.R.C Mark* (ANEXO V), funcionan bajo ciertas condiciones o premisas.

   Dichas ecuaciones sirven como punto de partida para lograr una tubería flexible partiendo de los siguientes criterios:

   - Para tener un sistema de tubería flexible hay que lograr primero un trazado o geometría flexible.

   - En la medida que se agreguen soportes y/o restricciones a un sistema de tubería, éste será menos flexible.

   - Si un soporte o restricción no bloquea o limita la expansión térmica, el único efecto que produce sobre la flexibilidad es la fuerza de roce, la cual para tuberías pequeñas puede despreciarse.

   Luego podemos tener una primera aproximación de la flexibilidad del sistema con la ayuda de las ecuaciones de flexibilidad del ANEXO V, despreciando el efecto de los soportes intermedios que no restrinjan la expansión térmica.

2. **DETERMINACIÓN DE LA DIRECCIÓN CARENTE DE FLEXIBILIDAD**

   Una vez conocido que el sistema en estudio no es flexible, se podrá determinar la dirección o direcciones que presentan una rigidez excesiva, en otras palabras, que no son capaces de absorber la expansión térmica producida por el propio sistema de tuberías y los movimientos de sus equipos asociados y de esta forma poder determinar donde esta el problema y poder encontrarle solución al mismo.

   Para determinar la dirección que carece de flexibilidad se descompuso la ecuación de flexibilidad presentada por los códigos en los tres ejes coordenados y evaluar cada dirección X, Y y Z, para lo cual se considerará la distancia (L-U) como la longitud perpendicular a la expansión térmica (L_p), de acuerdo a lo que plantea el método de la viga en cantiliver guiada.

   Finalmente, las ecuaciones quedarán de la siguiente forma:

$$\frac{D * Y_x}{(L_p)^2} \leq 0.03$$

(Flexibilidad en X) (6.2 a)

$$Y_x = U_x * \alpha * \Delta t + \Delta ax$$

$$\frac{D * Y_y}{(L_p)^2} \leq 0.03$$

(Flexibilidad en Y) (6.2 b)

$$Y_y = U_y * \alpha * \Delta t + \Delta ay$$

$$\frac{D * Y_z}{(L_p)^2} \leq 0.03$$

(Flexibilidad en Z) (6.2 c)

$$Y_z = U_z * \alpha * \Delta t + \Delta az$$

Donde :

D =	Diámetro nominal (pulg. ó mm)
Y_x, Y_y, Y_z =	Expansión térmica en la dirección a evaluar X, Y, Z (pulg)
L_{px}, $L_{p\,y}$, L_{pz} =	Longitud de la tubería perpendicular a la dirección de expansión (X, Y o Z) (pies)
U_x, U_y, U_z =	Distancia entre anclajes medido en la dirección que se está evaluando (pies ó metros)
α =	Coeficiente de expansión térmica (pulg./(pulg. ºF))
Δt =	Cambio en la temperatura (ºF)
Δ_{ax}, Δ_{ay}, Δ_{az} =	Expansión térmica y asentamiento del equipo en las direcciones X, Y y Z (pulg.)

Nota :

Para materiales diferentes a aceros la ecuación de flexibilidad deberá ser menor o igual que 30*Sa/Ec, siendo Sa = esfuerzo máximo admisible por el código y Ec = el Módulo de elasticidad a temperatura ambiente.

Para determinar cual es la dirección más rígida, se compararán los resultados de las ecuaciones en los tres ejes y el valor mayor es la dirección menos flexible.

Una vez determinada la dirección con problemas, se puede conocer L_p (requerida) (longitud perpendicular requerida), la cual puede agregarse en forma de lazo de expansión o en algunos de las direcciones perpendiculares para que el sistema sea flexible.

Por ejemplo si la dirección con falta de flexibilidad es X se determinará L_p de la siguiente manera:

$$L_p(requerida.) = \sqrt{\frac{D * Y_X}{0.03}} \qquad (6.2)$$

Donde :

D = Diámetro nominal de la tubería (pulg.)

Y = Expansión en la dirección de menor flexibilidad (pulg.)

L_p *(requerida)* = Longitud perpendicular requerida (pies)

Luego la longitud que se requiere aumentar es la siguiente:

$$\Delta L_p = L_p(requerida) - L_p \qquad (6.3)$$

Donde :

L_p *(requerida)* = Longitud perpendicular requerida (pies)

L_p = Longitud perpendicular existente (pies)

ΔL_p = Longitud perpendicular a aumentar (pies)

Como en el ejemplo la dirección a aumentar la flexibilidad es X, entonces ΔL_p deberá ser aumentada en los ejes Y y/o Z.

Es importante que si la falta de flexibilidad se presenta en dos de los ejes coordenados, por ejemplo en X y Z, se deberán aumentar ΔL_p en la dirección de Y (la cual es perpendicular a ambos ejes) de forma que se aumente la flexibilidad en las dos direcciones X y Z simultáneamente.

Nota :

Para materiales diferentes a aceros el valor 0.03 de la ecuación de flexibilidad deberá sustituirse por 30*Sa/Ec, siendo Sa = esfuerzo máximo admisible por el código y Ec = Módulo de elasticidad.

3. METODO DE LA VIGA EN VIGA EN CANTILIVER

En el caso de requerir una análisis mas detallado, en donde se requiera conocer el estado de esfuerzos, fuerzas y momentos aplicados sobre los equipos y accesorios del sistema de tuberías, contamos con diversos métodos entre los cuales, se encuentra el Método de la Viga en Cantiliver, el cual es uno de los mas conocidos por su facilidad de uso.

El Método de la Viga en cantiliver parte de las siguientes premisas:

Asume que las deflexiones en la tubería por efecto de la expansión térmica de la tubería ocurren en un sólo plano, como se observa en la figura:

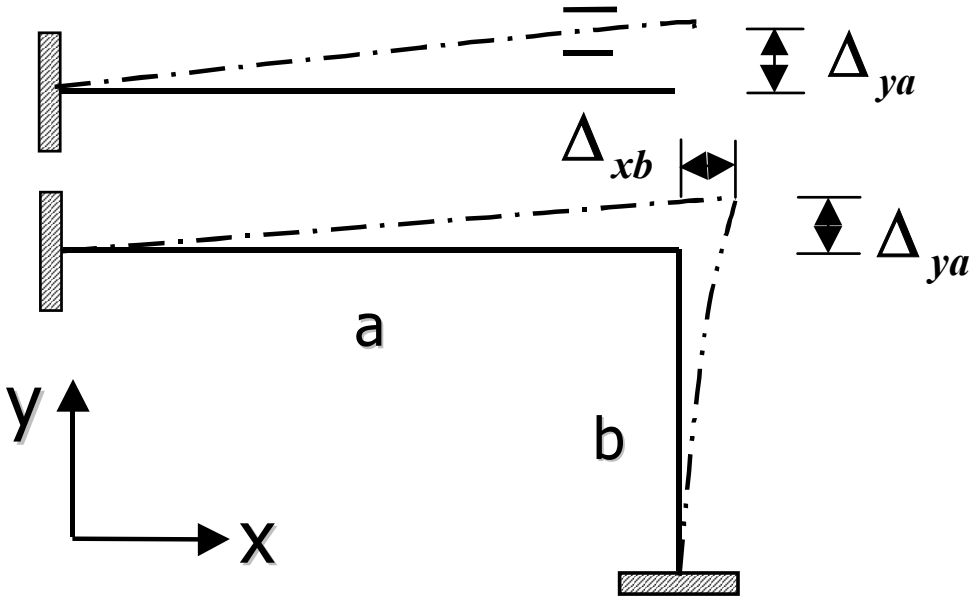


Fig.6.1 VIGA EN CANTILIVER GUIADA

- No considera el efecto producido por el momento torsor, considerando solo el momento flexionante de la tubería.
- La expansión térmica es absorbida solo por los tramos en dirección perpendicular a ésta.
- La cantidad de expansión térmica, que un tramo puede absorber, es inversamente proporcional a su rigidez.

VENTAJAS DEL MÉTODO DE LA VIGA EN CANTILIVER GUIADA

1. Es un método relativamente rápido de usar.
2. Representa una excelente herramienta cuando se tienen “sistemas pequeños” y no se posee un paquete computacional para analizar tuberías.
3. Proporciona al diseñador información con las cuales se puede guiar para resolver un problema con la flexibilidad de algún sistema.
4. Puede ser automatizado por medio de un programa de computadora, bien sea especializado o una hoja de cálculo (Excel, por ejemplo).

LIMITACIONES DEL MÉTODO DE LA VIGA EN CANTILIVER GUIADA

1. Considera que las deflexiones en la tubería por efecto de la expansión térmica de la tubería ocurren en un solo plano.
2. No considera el efecto de producido por el momento torsor, considerando solo el momento flexionante de la tubería.
3. El sistema solo debe tener dos puntos terminales.
4. El sistema está compuesto por tramos rectos de tubería con tamaño y espesor uniforme, e intersecciones en escuadra (desprecia el uso de codos).
5. Todos los tramos deben ser paralelos a los ejes coordenados.
6. Al absorber las expansiones térmicas, los tramos actúan como una viga en cantiliver guiada; esto es, están sujetos a flexión bajo los desplazamientos en los extremos; sin embargo, no se permite rotación en los extremos (por la continuidad de la tubería).

ERRORES DE CÁLCULO CON EL MÉTODO DE LA VIGA EN CANTILIVER

Para minimizar los errores y simplificar los cálculos, se deberá diseñar los sistemas de tuberías basándose en los siguientes criterios:

1. Como el método considera que el efecto de expansión térmica ocurre en un solo plano, se colocarán los soportes adecuados (guías, topes, etc.) para dividir el modelo en planos y lograr resultados cercanos a la realidad.
2. Se realizará el diseño del sistema y se colocarán los soportes (guías, topes, etc.) de tal manera que se evite que se produzcan los momentos torsionantes, los cuales no pueden ser calculados por este método.
3. Como el método considera solo dos puntos terminales, se debe realizar las siguientes consideraciones:
   i) Cuando una tubería de menor diámetro (menos rígida) esta conectada a una tubería de mayor diámetro (más rígida) se asume que la tubería de menor diámetro absorberá el movimiento de expansión térmica producido por la grande, por lo tanto se considerará que la tubería pequeña se encuentra anclado a un rígido con movimiento, y la tubería de mayor diámetro se considera como que tiene una fuerza aplicada en el punto de unión, y este deberá ser calculado previamente en la consideración 1.

ii) En el caso de unión entre dos ramales de igual o muy cercano diámetro, se deberá colocaran un soporte cercano al ramal y de esta forma considerar ambos puntos anclados sin movimiento.

4. Se evitarán en lo posible el uso de codos a 45° y realizar trazados fuera de las direcciones de los ejes coordenados.

PASOS PARA REALIZAR EL ANALISIS CON LA TÉCNICA DE LA VIGA EN CANTILIVER

El método propone el cálculo de las fuerzas y momentos realizando los siguientes pasos:

1. Cálculo de la expansión térmica esperada en cada tramo de tubería.
2. Determinación de los desplazamientos debidos a la expansión térmica de los puntos en análisis, tomando en cuenta las restricciones existentes en cada uno de los ejes.
3. Para calcular la proporción de desplazamiento total, absorbido por cualquier tramo dado n, emplearemos la siguiente fórmula:

$$\Delta_n = \frac{L_n^3}{\sum L_i^3} \Delta_T$$

Donde :

Δn = desplazamiento absorbido por el tramo “n” (pulg.)

Δ_T = desplazamiento total a ser absorbido (pulg.)

L_n = longitud del tramo “n” (perpendicular al tramo en análisis) (pies)

L_i = longitud de cada /uno de los tramos perpendiculares (pies)

4. La capacidad de deflexión de una viga en cantiliver bajo dicha suposición, está dada por la ecuación:

$$\Delta = \frac{144 L^2 S_A}{3 E D_o}$$

Donde :

Δ = Deflexión permisible (pulg.)

SA = Esfuerzo permisible (psi)

L = Longitud necesaria del brazo para absorber la expansión (pies)

Do = Diámetro exterior de la tubería (pulg.)

5. Luego la fuerza que se produce por la deformación del la tubería viene dada por:

$$F = \frac{12\ E\ I\ \Delta}{L^3}$$

Donde:

F = Fuerza producida por el efecto de flexión de la tubería (lbs)

Δ = Deflexión permisible (pulg.)

L = Longitud necesaria del brazo para absorber la expansión (pies)

I = Momento de inercia de la tubería (pulg.^{4})

E = Modulo de elasticidad en frío = 27.9 E6 (psi)

6. Finalmente el momento que se produce por efecto de la fuerza aplicada viene dado por:

$$M = \frac{6\ E\ I\ \Delta}{L^2}$$

Donde:

M = Momento producido por el efecto de la fuerza producto de la flexión de la tubería (lbs pulg.)

Δ = Deflexión permisible [in].

L = Longitud necesaria del brazo para absorber la expansión (pies)

I = Momento de inercia de la tubería (pulg.4)

E = Modulo de elasticidad en frío = 27.9 E6 (psi)

ANEXO VII
VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

1. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS

Una vez concluido el análisis se validarán los resultados obtenidos de la siguiente manera:

Cálculo manual

En este caso, se verificarán que los resultados de las ecuaciones tengan el orden de magnitud esperado de acuerdo a la experiencia de análisis previos o por medio del uso de ecuaciones simplificadas. En caso de encontrar valores no esperados se deberán revisar:

2.3.1 Consistencia entre las unidades usadas en las variables de las ecuaciones.

2.3.2 Condiciones del proceso (Temperatura).

2.3.3 Rango de uso de las Tablas, gráficos y ecuaciones usadas.

2.3.4 Suposiciones y consideraciones realizadas para simular los diferentes tipos de soportes (Condiciones de Borde).

Simulación por computadora

para validar los resultados de las simulaciones realizadas en la computadora se deberán revisar los siguientes parámetros:

2.3.1 Condiciones de diseño y operación (revisar en el reporte de resultados):

Temperatura y presión de operación

Temperatura y presión de diseño

Temperatura ambiente

Condiciones de borde (revisar en el reporte de resultados):

1.2.2.1 Desplazamientos en lugares de anclaje: debe haber cero desplazamiento

1.2.2.2 Desplazamiento en lugares de imposición de movimiento: debe ser igual al desplazamiento impuesto

1.2.2.3 Lugares con imposición de fuerzas: debe observarse una variación en la fuerza proporcional a la fuerza impuesta

1.2.3 Continuidad en los desplazamientos (revisar en el reporte de resultados)

Debe haber una continuidad entre los desplazamientos sobre la tubería en nodos consecutivos, evaluados en misma dirección, no pudiendo haber saltos entre dichos desplazamientos.

1.2.4 Continuidad en las fuerzas (revisar en el reporte de resultados)

No debe haber saltos en los valores de nodos consecutivos a no ser por la existencia de algún soporte que provoque este cambio.

2.3.2 Magnitud de los desplazamientos y fuerzas:

Se deberá revisar que las expansiones y fuerzas tengan valores razonables, basándose en experiencias previas del analista o apoyándose en ecuaciones simplificadas.

2. DISCREPANCIAS EN LOS VALORES ARROJADOS POR EL SOFTWARE

Las discrepancias mas comúnmente encontradas son:

2.1. **Las condiciones de borde no corresponden con lo esperado.** En este caso se deberá revisar:

2.1.1 Nodos con anclajes: se deberá revisar las condiciones de anclaje de los nodos.

2.1.2 Nodos a los que se les impone movimiento: se deberá revisar la imposición de movimiento de los nodos.

2.2. **Falta de continuidad en los desplazamientos:** Si se observan saltos entre dos nodos consecutivos en lo que se refiere a los desplazamientos por expansión térmica se debe revisar lo siguiente:

2.2.1 Conexión del nodo con el resto de la tubería.

2.2.2 Coeficiente de expansión térmica usado.

2.2.3 Modulo de elasticidad.

2.3. **Se observa un salto en las fuerzas o un valor de fuerzas no esperado.** Se debe revisar lo siguiente:

2.3.1 Nodos con restricciones de movimiento (soportes): Revisar tanto ubicación de soportes como las restricciones de movimiento y holguras impuestas.

2.3.2 Nodos en los cuales se aplica cargas (fuerzas y momentos).

2.3.3 Continuidad de los ramales de las líneas y puntos de unión de nodos.

2.3.4 Correcta geometría del sistema de tuberías.

2.3.5 Módulo de elasticidad usado.

Nota:

Es importante conocer que los análisis realizados por el software son basándose en que los materiales se comportan en forma lineal-elástica, situación que solo ocurre cuando estamos trabajando con esfuerzos por debajo del límite de fluencia del material, por lo tanto, cualquier deformación o fuerza que se observe en una simulación donde los esfuerzos estén por encima de este valor no tendrán ninguna validez.

ANEXO VIII

VARIABLES QUE AFECTAN LA FLEXIBILIDAD DE UNA LÍNEA

a. Partiendo de la definición de flexibilidad (Ver Definiciones), se dice que un sistema es flexible cuando los esfuerzos de expansión en las tuberías, así como las fuerzas y momentos que los extremos de las líneas ejercen sobre las boquillas de los equipos, están por debajo de los valores admisibles estipulados en las normas de diseño o en las especificaciones de los fabricantes de los equipos. En otras palabras, el sistema es flexible cuando es capaz de absorber los desplazamientos producto de la dilatación térmica.

b. Las variables que afectan la flexibilidad de una tubería son:

1. *Tipo de Material de la Línea*: éste establece el módulo de elasticidad (medida de la rigidez relativa del material) y el coeficiente de dilatación (medida de la variación de la longitud o volumen debida al incremento de la temperatura). Los materiales con más grandes coeficientes de dilatación tienen mayores expansiones térmicas, por lo tanto mayor desplazamiento y menor flexibilidad que materiales con menores coeficientes de dilatación a la misma temperatura.

2. *Momento de Inercia*: esta variable depende de la sección transversal de la tubería, por lo tanto, depende de su diámetro. La rigidez es mayor mientras más grande sea el diámetro y el espesor de la tubería.

3. *Configuración Geométrica y Soportería*: este punto se refiere a la ruta desarrollada por la línea, a la localización de los soportes y tipos de éste.

    a. La influencia de la ruta de la línea depende de la relación que existe entre su longitud desarrollada L y la distancia U entre los puntos extremos del tramo estudiado, es decir, los anclajes (por ejemplo, conexión a los equipos). Mientras mayor sea la longitud desarrollada para una distancia dada entre anclajes, mayor será la flexibilidad del sistema debido a que habrán más tramos de tuberías transversales que se encargarán de absorber los esfuerzos por flexión y torsión. En términos generales, puede decirse que los esfuerzos de expansión generados son inversamente proporcionales al cuadrado de la diferencia L-U (Ver Anexo IX).

    b. Los soportes y restricciones tienen una influencia crucial en el comportamiento mecánico de los sistemas de tuberías, pues con ellos, ubicados adecuadamente, se puede controlar o dirigir los desplazamientos térmicos y de otros orígenes, con lo que controlan a su vez las fuerzas y momentos que ejercen las tuberías sobre los equipos conectados, reducen las vibraciones del sistema y evitan las interferencias entre tuberías vecinas (Ver DIC-121-G07 Selección y Diseño de Soportes de Tuberías).

En vista de que el tipo de material y el diámetro de la línea son variables que normalmente no pueden ser modificadas por el Analista, a éste le queda desarrollar un manejo adecuado de la configuración geométrica y la

soportería. Con éstos dos factores se puede lograr controlar la flexibilidad del sistema de manera efectiva. Si un sistema de tuberías no posee la flexibilidad suficiente, el analista puede modificar parcialmente el recorrido de la línea en zonas específicas para incrementar la longitud desarrollada, puede también utilizar lazos de expansión en tramos rectos de longitud considerable (ver Anexo IX), puede reubicar algunos soportes, modificar el tipo de resorte en puntos específicos, emplear soportes flexibles (Ver DIC-121-G07 Selección y Diseño de Soportes de Tuberías), etc.

ANEXO IX

MEDIOS PARA AUMENTAR LA FLEXIBILIDAD DE SISTEMAS DE TUBERÍAS

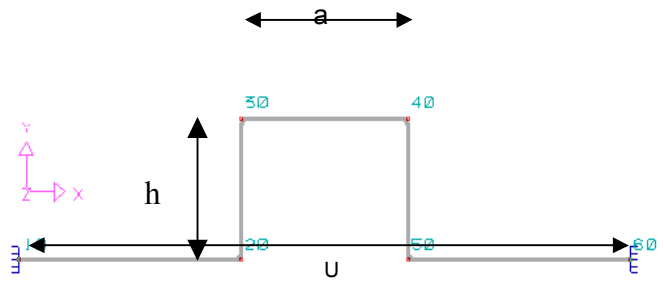
1. USO DE LAZOS DE EXPANSIÓN

En caso de requerir agregar flexibilidad a un sistema de tuberías, una de las más efectivas y económicas formas es el uso de Lazos de Expansión, los cuales pueden ser calculados por diferentes métodos, siendo los mas conocidos y usados los siguientes:

1.1. Método de la Ecuación de Flexibilidad

En este método se calcula la longitud requerida por medio de la ecuación de flexibilidad utilizada por los códigos B-31.1 y B-31.3, y lo que se busca es conseguir que la relación L/U permita tener una geometría tal que permita absorber la mayor cantidad de desplazamiento del sistema, por lo que:

$$\frac{D*Y}{(L-U)^2} = 0.03$$



De acuerdo a la forma del lazo se tiene que:

$$L = U + 2\,h$$

por lo que la ecuación de flexibilidad queda de la forma:

$$\frac{D*Y}{4*h^2} = 0.03$$

El valor de ***h*** será:

$$h = \sqrt{\frac{D*Y}{0.12}}$$

Donde:

D = Diámetro nominal (pulgadas)

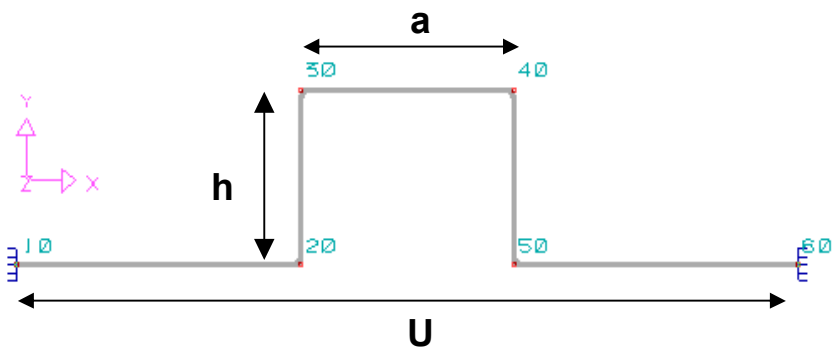
Y = Expansión térmica medida en línea recta entre los dos anclajes (pulgadas)

$$Y = 0.5\,U \propto \Delta t$$

Luego la longitud del sistema aumenta en 2*h.

1.2. Método de la Viga en Cantiliver

Este método se basa en idealizar el arreglo de tuberías mostrado como dos vigas cantiliver con la misma longitud ***h***, y que cada una absorbe la mitad de la expansión térmica que se genera entre los anclajes.



Utilizando la ecuación de la viga en cantiliver se tiene:

$$\frac{D * Y * Ec}{48 * h^2} \leq Sa$$

Despejando ***h*** se tiene:

$$h = \sqrt{\frac{D * Y * Ec}{48 * Sa}}$$

Donde:

D = Diámetro externo (pulg)

Y = (Expansión térmica entre los anclajes)/2 = 0.5 U $\propto$ Δt

$\propto$ = Coeficiente de expansión térmica (pie/ºF).

Δt = Incremento de la temperatura (ºF).

Ec = Coeficiente de elasticidad (27.9 x 10^6 psi para aceros).

Sa = Stress Allowance (Esfuerzo admisible, psi)

El valor de *Sa* se calcula de acuerdo a los Códigos B31.1 o B31.3

Sa = f (1.25 Sc + 0.25 Sh)

Donde,

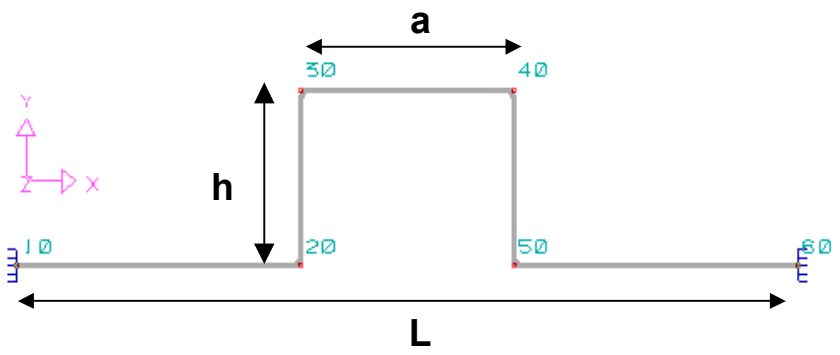
Sc = esfuerzo admisible de expansión a la temperatura mínima, generalmente ambiente.

Sh = esfuerzo admisible de expansión a la temperatura máxima, generalmente la temperatura de diseño.

f = factor de reducción por cargas cíclicas.

1.3. Método gráfico de Grinnell ®

Este es un método desarrollado por Grinnell® para el cálculo de lazos de expansión, el cual utiliza una serie de tablas con relaciones y factores de corrección para la determinación de la longitud requerida de los brazos del lazo.



En la Tabla realizada por Grinnell® se determina un factor c de la tabla "Expansion Factor, c", (ver Tabla A)

Luego, se halla Sa de acuerdo a los Códigos B31.1 o B31.3.

$$Sa = f\,(1.25\,Sc + 0.25\,Sh)$$

Finalmente, se calcula Kb usando la ecuación del Máximo Esfuerzo a Flexión (Maximum Bending Stress).

De la tabla de Grinnell® se tiene:

$$Sb = \frac{Kb * c * D}{L}$$

Asumiendo Sb=Sa y resolviendo la ecuación, se obtiene:

$$Kb = \frac{f\,(1.25\,Sc + 0.25\,Sh)*L}{c*D}$$

Grinnell® recomienda relaciones L/a entre 2 y 10, siendo el más aconsejable una relación L/a= 6. Con esta relación asumida se obtiene entrando a la Tabla B un valor cercano al Kb calculado de acuerdo a la ecuación anterior y con este se encuentra la relación L/h en la misma tabla. Como L es un valor conocido se despeja h de esa relación, definiéndose el brazo del lazo.

TABLA A

Piping Expansion Stresses (Expansion Factor c)

Temperature T (°F)	**Carbon steel C ≤ 0.30 %**	**Carbon steel C> 0.30%**	**C-moly and Low Cr. Moly Cr. ≤ 3 %**	**Cr.moly 5% ≤Cr Mo ≤ 9 %**	**Austenitic stainless steels**
70	0	0	0	0	0
100	37	40	40	35	54
150	98	106	106	92	143
200	160	171	171	149	232
250	228	244	244	212	323
300	294	315	315	271	414
350	305	391	391	335	509
400	436	467	467	396	603
450	510	547	547	465	699
500	584	626	626	531	794
550	664	711	711	603	893

TABLA B

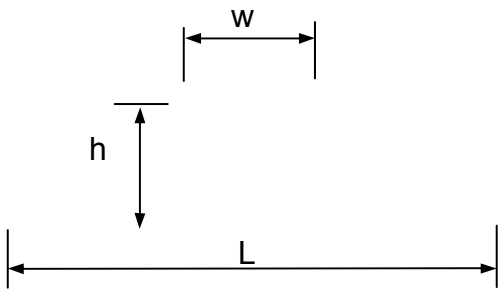
L/A	2		3		4		5		6		7		8		9		10	
L/h	K_x	Kb	K_x	K_b	K_x	K_b	K_x	K_b	K_x	K_b	K_x	K_b	K_x	K_b	K_x	K_b	K_x	K_b
1.0	2.40	7.20	2.46	8.20	2.52	8.82	2.58	9.29	2.64	9.69	2.67	9.92	2.70	10.10	2.73	10.30	2.75	10.45
1.2	3.70	9.25	4.46	10.90	4.65	12.00	4.78	12.80	4.84	13.30	5.00	13.90	5.20	14.00	5.29	14.40	5.35	14.90
1.4	5.31	11.37	6.46	13.60	6.79	15.20	6.98	16.30	7.10	17.00	7.40	17.90	7.70	18.10	7.85	18.60	7.95	19.40
1.6	7.22	13.53	8.46	16.3	8.93	18.40	9.20	19.80	9.50	20.80	9.80	22.00	10.20	22.30	10.41	22. 90	10.55	23.90
1.8	9.45	15.75	10.48	19.00	11.08	21.60	11.42	23.40	11.90	24.70	12.30	26.10	12.70	26.70	12.97	27.40	13.15	28.50
2.0	12.00	18.00	12.50	21.80	13.24	24.80	13.87	27.10	14.40	28.80	14.90	30.20	15.30	31.20	15.53	32.30	15.79	33.20
2.2	14.85	20.25	15.80	24.90	16.60	28.50	16.90	31.00	17.50	33.40	18.00	34.80	18.60	36.20	18.00	38.00	21.00	38.60
2.4	18.00	22.50	19.60	28.00	20.40	32.20	20.80	35.30	21.30	38.00	22.50	40.00	23.80	41.70	25.20	43.70	26.30	44.40
2.6	21.52	24.83	23.40	31.10	24.40	35.90	25.50	39.70	26.20	42.70	27.50	45.30	29.00	47.30	35.90	49.50	31.70	50.50
2.8	25.32	27.10	27.30	34.20	28.90	39.70	30.60	44.00	31.70	47.50	33.00	50.70	34.70	53.00	36.30	55.40	37.20	56.90
3.0	29.45	29.45	31.20	37.40	33.60	43.70	35.80	48.70	37.70	52.70	39.30	56.20	40.70	59.00	41.90	61.50	43.0	63.60
3.2	33.90	31.80	35.60	40.60	39.00	47.60	41.20	53.30	43.70	58.00	45.70	61.70	48.00	65.10	50.00	67.80	50.8	70.60
3.4	38.70	34.10	40.00	43.80	44.50	51.60	46.90	58.00	49.50	63.30	52.20	67.30	55.50	71.30	58.30	74.20	59.2	77.70
3.6	43.70	36.50	46.10	47.00	50.30	55.60	53.00	62.80	57.50	68.70	59.50	73.00	63.20	77.70	66.70	80.70	68.0	84.90
3.8	49.10	38.80	52.30	50.20	57.00	59.80	60.20	67.60	65.50	74.10	68.50	79.40	71.50	84.20	75.20	87.30	77.1	92.20

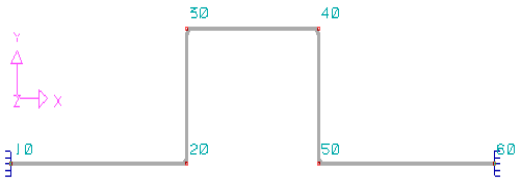
1.4. <u>Método del Nomograma</u>

Éste es un método que se caracteriza por ser rápido y fácil de aplicar, además de permitir realizar lazos con otras formas diferentes a la de la U con codos.

Está limitado para uso de materiales ferrosos donde el coeficiente de elasticidad Ec.= 29.9E6 psi.

En la Figura 1.5 se muestra un nomograma que consiste en un gráfico con tres escalas, donde se selecciona el diámetro nominal en la de la izquierda y se une mediante una línea a la escala del medio, que representa al valor de la expansión que se desea absorber. Esta línea se prolonga hasta la escala de la derecha, donde se obtiene el valor de la longitud del lazo (2h+w) donde h=w (recomendado por el método)





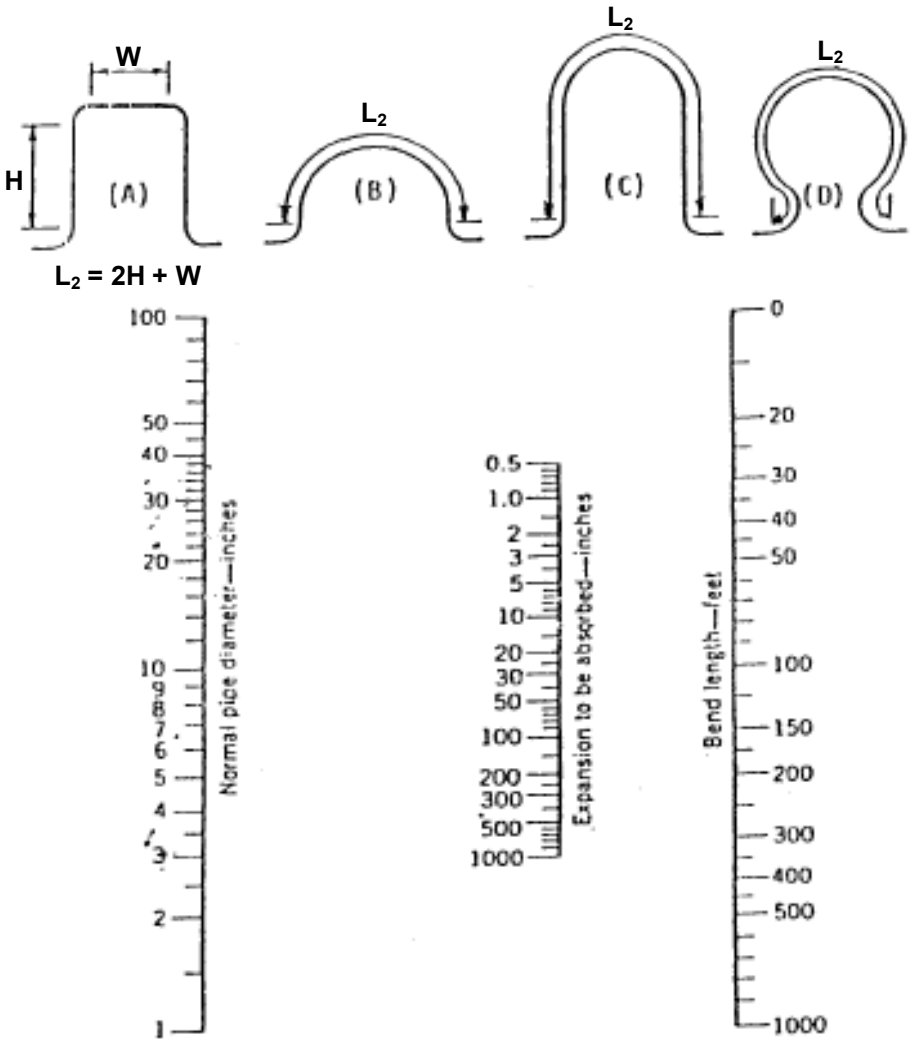


FIGURA 1.5 Nomograma para determinar el tamaño del lazo de expansión

2. USO DE JUNTAS DE EXPANSIÓN

Las Juntas de Expansión son dispositivos flexibles que se intercalan en una tubería como alternativa para absorber las dilataciones térmicas. Generalmente se fabrican mediante el conformado plástico de una tubería de pequeño espesor, transformándola en un tubo con pliegues, denominado fuelle.

Excepto en los casos que se citan más adelante, en general no se recomienda el uso de juntas de expansión debido a que son dispositivos delicados y sensibles que requieren un programa de inspección permanente, alto costo, dificultad en el manejo e instalación y alta probabilidad de falla.

Las Juntas de Expansión deben usarse únicamente en las siguientes circunstancias:

- ✓ Cuando, por exigencias del proceso, línea no pueda tener cambios bruscos de dirección.
- ✓ Cuando, debido a limitaciones de espacio, se vuelve imposible lograr la flexibilidad requerida mediante arreglos o lazos de expansión apropiados.
- ✓ En líneas de diámetros muy grandes, donde la construcción de arreglos especiales en el trazado se vuelve poco práctico o indeseable.
- ✓ En la conexión de tuberías a equipos delicados (bombas, compresores, etc.), cuando se hace imposible por otros medios reducir las cargas que ejerce la tubería sobre las boquillas de los equipos.

Adicionalmente, dichas Juntas no deberán usarse cuando:

- ✓ Existan servicios que puedan solidificarse como por ejemplo: azufre líquido, crudos muy pesados, etc.
- ✓ Condiciones cíclicas severas

Si el fluido es tóxico o peligroso para la salud humana, las juntas de expansión deberán proveerse con una cubierta de seguridad.

2.1. Tipos de Juntas de Expansión

Simples, Universales, Articuladas (Hinged), De cardán (Gimbal), Balanceadas (Pressure Balanced).

2.1.1. Juntas de Expansión Simples (ver Figura 2.1.1)

- Tienen un único fuelle.
- Pueden absorber movimientos axiales, laterales y angulares.
- No restringen el empuje debido a la presión.
- Se deben proveer anclajes separados y guías para resistir el empuje por presión.
- Debe instalarse en la dirección de la expansión a absorber .

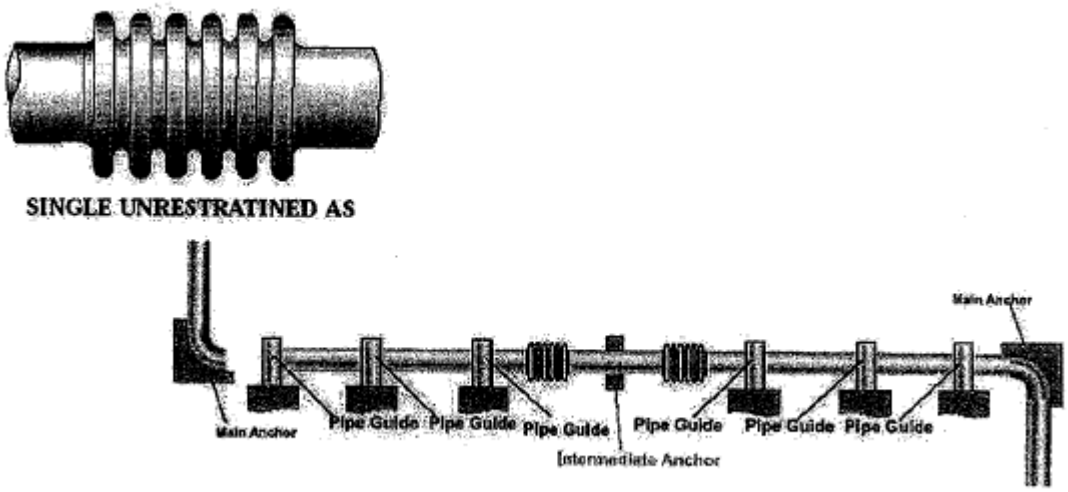


Figura 2.1.1. Junta de Expansión Simple

2.1.2. <u>Juntas de Expansión Simples con barras tensoras</u> (ver Figura 2.1.2)

- Tienen un único fuelle.
- La longitud total será restringida por barras tensoras.
- Está diseñada para absorber movimientos laterales.
- Restringe el empuje debido a la presión.

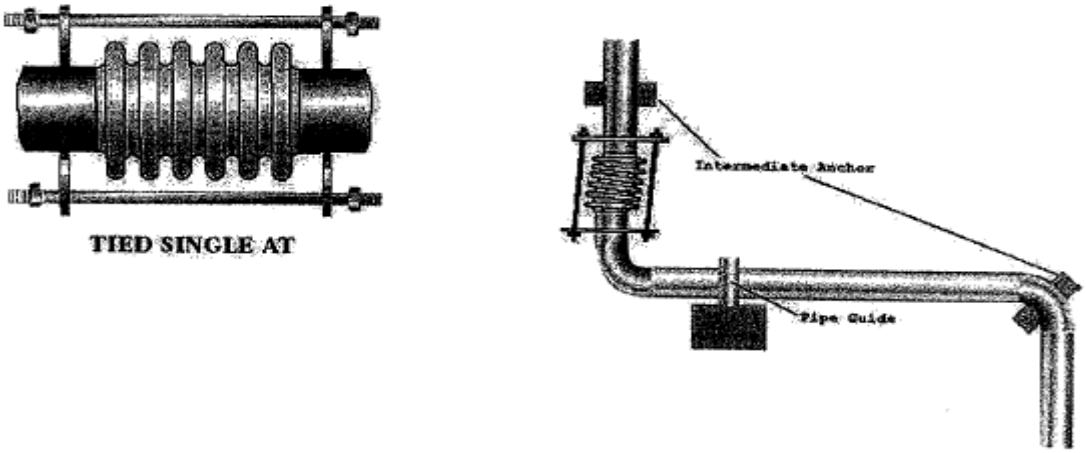


Figura 2.1.2. Junta de Expansión Simple con barras tensoras

2.1.3. <u>Juntas de Expansión Universales</u> (ver Figura 2.1.3)

- Tienen dos fuelles separados por un niple.
- Pueden absorber grandes movimientos laterales en conjunto con movimientos axiales y angulares.
- No restringen el empuje debido a la presión.
- Se deben proveer anclajes separados y guías para resistir el empuje por presión.

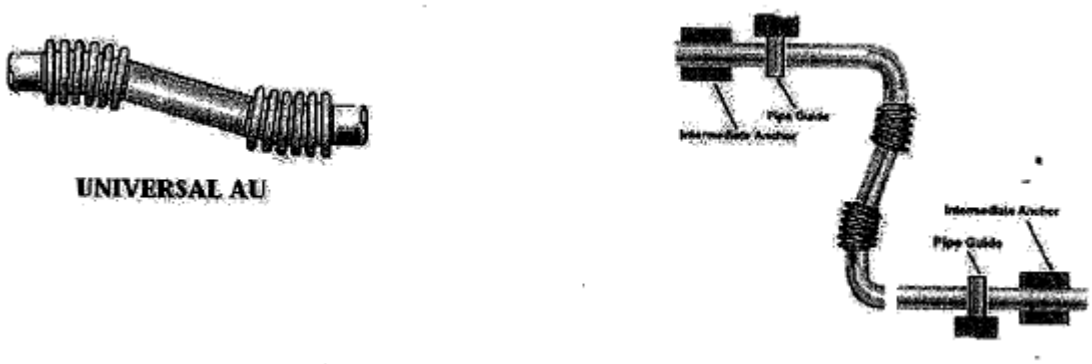


Figura 2.1.3. Junta de Expansión Universales

2.1.4. <u>Juntas de Expansión Universales con barras tensoras</u>

- Tienen dos fuelles separados por un niple.
- La longitud total está restringida pro barras tensoras.
- Está diseñada para absorber grandes movimientos laterales.
- Restringe el empuje debido a la presión.

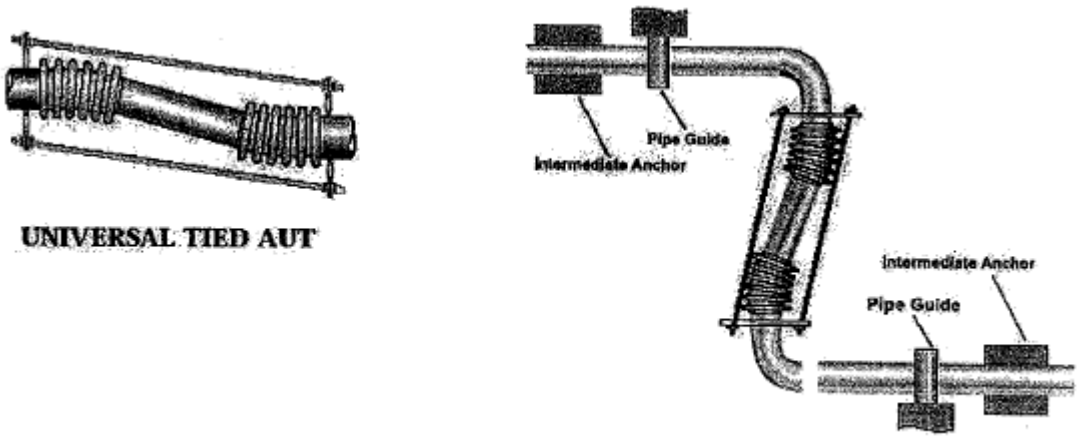


Figura 2.1.4. Junta de Expansión Universales con barras tensoras

2.1.5. <u>Juntas de Expansión Articuladas (Hinged Expansion Joints)</u>

- Tiene un único fuelle con una articulación plana.
- La longitud total está restringida por la articulación.
- Está diseñada para absorber movimientos angulares en un único plano.
- La articulación restringe el empuje debido a la presión.

Figura 2.1.5. Juntas de Expansión Articuladas (Hinged Expansion Joints)

2.1.6. <u>Juntas de Expansión Universales Articuladas</u>

- Tiene dos fuelles, un niple intermedio y dos articulaciones planas.
- La longitud está restringida por las articulaciones.
- Está diseñada para absorber grandes movimientos

laterales en un único plano.

- Las articulaciones restringen el empuje debido a la presión.

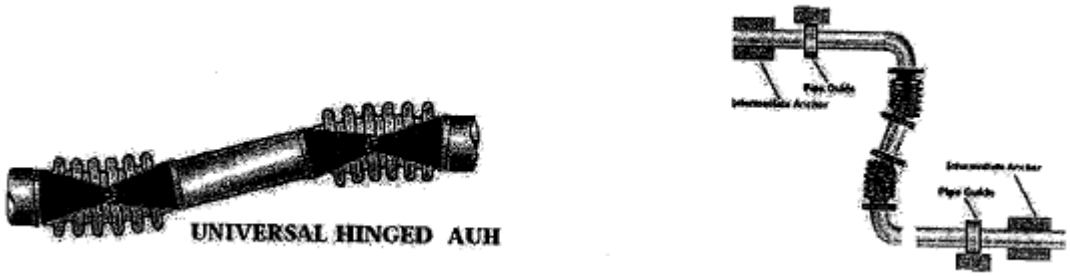


Figura 2.1.6. Juntas de Expansión Universales Articuladas

2.1.7. <u>Juntas de Expansión de Cardán (Gimbal Expansion Joints)</u>

- Tiene un solo fuelle y una articulación esférica tipo cardán.
- La longitud total está restringida por la articulación.
- Está diseñada para absorber movimientos angulares en cualquier plano.
- La articulación restringe el empuje debido a la presión.

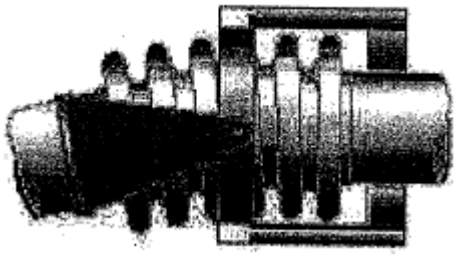


Figura 2.1.7. Juntas de Expansión de Cardán (Gimbal Expansion Joints)

2.1.8. <u>Juntas de Expansión Universales de Cardán</u>

- Tiene dos fuelles y dos articulaciones esféricas tipo cardán.
- La longitud total está restringida por las articulaciones.

- Está diseñada para absorber grandes movimientos laterales y angulares en cualquier plano.
- Las articulaciones restringen el empuje debido a la presión.

Figura 2.1.8. Juntas de Expansión Universales de Cardán

2.1.9. <u>Juntas de Expansión Balanceadas (Pressure Balanced)</u>

- No producen fuerzas de empuje por presión sobre el sistema de tuberías, pues la fuerza axial que se genera por la presión está balanceada.
- Puede absorber movimientos axiales, laterales y angulares.

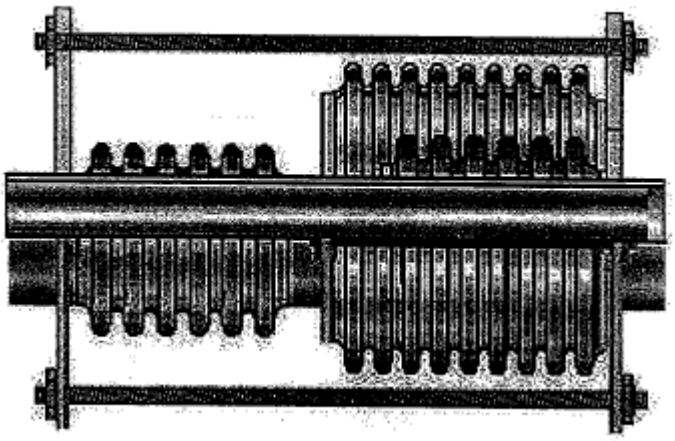


Figura 2.1.9. Juntas de Expansión Balanceadas

ANEXO X

EVALUACIÓN DE CARGAS EN LOS EQUIPOS

Este anexo ofrece una orientación para la evaluación de las cargas en los equipos, indicando las normas aplicables y una breve inducción del uso de las mismas en algunos casos.

1. Bombas Centrífugas

Generalmente, las normas API o ANSI aplican a bombas de carcasa de acero al carbono; en caso de ser de hierro fundido sus valores admisibles serán menores que los de la norma. Para verificar las cargas, siempre deben ser solicitados los admisibles al fabricante.

Según la norma que aplique se debe tomarse en consideración lo siguiente:

1.1. API 610

- Las fuerzas y los momentos en las boquillas de la bomba están dentro de los límites satisfactorios si sus valores son iguales o menores a los de la Tabla 2.1A o 2.1B de la norma.
- Si el criterio anterior falla, pero las fuerzas y los momentos para cada boquilla son menores o iguales que el doble del valor dado en la Tabla 2.1A o 2.1B, y las desigualdades de los párrafos F.1.2.2 y F.1.2.3 de la norma, se cumplen, entonces las fuerzas y los momentos son satisfactorios.
- Por su parte, las bombas verticales “en línea”, son satisfactorias desde el punto de vista de las cargas en las boquillas para valores de hasta el doble de la Tabla 2.1A o 2.1B. Si ésto no se cumple y el esfuerzo causado por las cargas en la boquilla es menor que 5950 psi, entonces las cargas son aceptables. Las ecuaciones para la evaluación de estos esfuerzos se muestran en el punto F.2 del Apéndice F de la norma.

1.2. ANSI B 73.1

En este caso, las cargas deben verificarse según los admisibles o fórmulas proporcionadas por los fabricantes que emplean este estándar.

2. Compresores Centrífugos

En general, se pueden evaluar las cargas por medio de la norma API 617, Apéndice G. Esta norma, desarrolla su propio criterio adaptando las ecuaciones de la NEMA. Para ejemplos, pueden servir los contenidos en la norma NEMA 23, con las consideraciones de las adaptaciones entre normas.

3. Turbinas de Vapor

El estándar correspondiente para la evaluación de las cargas es el NEMA 23. Esta norma puede ser convenientemente aplicada a sopladores (aire o gas) cuando no se disponga de la información de los admisibles del fabricante.

4. Equipos Reciprocantes

El diseño de estos equipos depende del uso y del fabricante, por lo que su estandarización no es sencilla.

Las normas que aplican para cada caso son:

- Compresores reciprocantes, aplica la API 618
- Bombas de desplazamiento positivo, aplica la API 674
- Bombas de desplazamiento positivo de volumen controlado, aplica la API 675

Estos equipos se caracterizan por producir perturbaciones cíclicas en forma de pulsación de presión o vibración. En las normas se pueden conseguir los requerimientos generales que deben de cumplir los sistemas de tuberías asociados, así como las técnicas de análisis para evitar los efectos negativos de las pulsaciones.

Es recomendable asegurarse que los fabricantes ofrezcan información de las cargas admisibles de las boquillas y de los diseños o mecanismos necesarios para controlar el efecto de las vibraciones.

5. **Calentadores de Fuego Directo**

Los requerimientos mínimos de cargas para las boquillas que se conectan a calentadores de fuego directo están contenidos en las normas API 560.

6. **Enfriadores de Aire**

Los requerimientos para la evaluación de las cargas en las boquillas de los enfriadores de aire, están plasmados en el API 661, sección 4.1.10, párrafos 4.1.10.1 al 4.1.10.3. Los requerimientos que deben cumplir las cargas se evalúan tanto individualmente como su efecto total sobre la carcasa.

Estos equipos son complejos y delicados, por lo que deben ser analizados con mucho cuidado.

Es muy recomendable que el análisis se realice en las primeras etapas del proyecto, con el fin de definir el arreglo definitivo de las tuberías, de manera que permita unas cargas en la boquilla por debajo del admisible, y en caso de ser necesario, solicitar a la Disciplina de Equipos, aumentar los desplazamientos para que sean superiores a los indicados en la Norma. Si esta solicitud se realiza antes de requerir las cotizaciones a los fabricantes, se minimizará el impacto en el costo del cambio solicitado.

7. **Tanques de Almacenamiento**

Para los tanques de diámetro mayor a 120 pies, se les puede aplicar la norma API 650, Apéndice P. Una aplicación típica de esta norma es la evaluación de las cargas que ejerce un sistema de tuberías a las boquillas de los tanques de un patio de almacenamiento de hidrocarburos.

8. **Recipientes a presión:**

Para la estimación de los esfuerzos locales en la unión de la boquilla con el equipo aplica la norma WRC-107 (Welding Research Council Bulletin). Es aplicable cuando la boquilla es radial, y no tangencial, tanto en recipientes esféricos como en cilíndricos.

Para realizar la evaluación de las ecuaciones previstas en la norma se recomienda el uso de un programa de computadora especializado (CAESAR II), ya que es suficientemente compleja como para hacerlo manualmente.

ANEXO XI

ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de resultados debe tener las siguientes partes principales:

1. **<u>Objetivo</u>**

   El objetivo debe incluir las razones del análisis.

   Algunos de los posibles alcances cuales pueden ser:

   - Análisis preliminar, realizado para estimación del computo de materiales en una Ingeniería Conceptual / Básica.
   - Análisis de sistemas de una Ingeniería de Detalle.
   - Evaluación de una planta en operación o luego de un incidente, como parte de un análisis de falla.

2. **<u>Alcance</u>**

   Debe expresarse claramente cual va a ser el producto final del análisis:

   - **Análisis de un sistema de tuberías a fabricar**

     En este caso se debe presentar únicamente la corrida final con la geometría y la ubicación de soportes que dieron el estado de cargas (fuerzas, momentos y esfuerzos) requeridos por el código en uso.

   - **Evaluar el sistema de tuberías para verificar el diseño sin aportar soluciones**

     En este caso se deberán presentar los resultados y las conclusiones del análisis realizado, sin dar soluciones a los problemas encontrados.

   - **Evaluar el sistema de tuberías para verificar el diseño para aportar soluciones**

     En este caso se presentarán los resultados obtenidos en el análisis y en caso de encontrarse problemas, se presentarán las posibles soluciones (generalmente se plantean al menos dos soluciones) previamente analizadas, las cuales deberán ser discutidas con el cliente o con el personal involucrado.

   - **Evaluar el sistema de tuberías luego de un accidente y presentar pruebas para un análisis de falla**

     En el caso de un análisis de falla, se deberá presentar las conclusiones obtenidas del análisis de resultados de forma que puedan dar información al análisis de falla ya sea apoyando o refutando la hipótesis planteada.

3. **<u>Documentos de Referencia</u>**

   Deben presentarse número de documento y revisión de los documentos de los cuales se usó la información para realizar el análisis, tales como: Diagramas de Tuberías e Instrumentación (P&ID's), Planos Ortográficos, Isométricos, Normas aplicadas, etc.

4. **Metodología**

En la metodología deben contener lo siguiente:

- Códigos o estándares a usar.
- Criterios usados para la segregación de líneas.
- Criterios usados para seleccionar grupos de líneas a analizar.
- Criterios usados para la determinación del tipo de análisis a realizar (Visual, Formal).
- Descripción del cálculo a realizar y del método o software a utilizar en cada caso.

5. **Listado de Líneas Segregadas**

Se presentará la segregación de líneas en el formato que se muestra en el ANEXO XII.

6. **Agrupación de líneas equivalentes**

Se presentarán las líneas equivalentes y la línea representativa del grupo a analizar.

7. **Consideraciones y/o Premisas**

Se deberán presentar las consideraciones realizadas en el análisis.

8. **Memoria de Cálculo**

En la memoria de cálculo deberán presentarse lo siguiente:

- Descripción del cálculo a realizar y del método o software a utilizar.
- Referencias bibliográficas
- Códigos, normas y estándares involucrados.
- Bases del diseño
- Condiciones del proceso (Temperatura, presión, fluido, etc.)
- Condiciones atmosféricas y geológicas (información sobre vientos, sismos, etc)
- Materiales usados con sus propiedades
    - Esfuerzos permisibles
    - Módulo de Elasticidad
    - Módulo de expansión térmica
- Cálculos realizados
- Conclusiones preliminares de los cálculos realizados.

9. Resultados globales e interpretación

Los resultados (esfuerzos en la tubería, cargas en los equipos y soportes) se presentan en los formatos correspondientes en el ANEXO XII (cálculo manual), o bien, con la presentación provista por el software especializado empleado (cálculo por computadora).

10. Conclusiones generales y recomendaciones